Projet N° 8351-195

IGM82-195-036
Etude No. 36
CNRC 20831

ETUDE PRELIMINAIRE AUX ACTIVITES CAO/FAO

APPLIQUEES A LA MISE EN FORME DES PLASTIQUES

Rapport de projet

Par

Georges Salloum

Institut de génie des matériaux

31 octobre 1982

Note au lecteur:

Les idées exprimées dans ce document sont celles de l'auteur (ou du contractant) et ne sont pas nécessairement partagées par l'Institut de génie des matériaux ou par le Conseil national de recherches Canada. L'auteur (ou le contractant) en assume l'entière responsabilité.

Si la demande est suffisante, des exemplaires supplémentaires de cet ouvrage pourront être disponibles dans la seconde langue officielle (français ou anglais).

Note to the reader:

The views expressed in this document are those of the author (or contractor) who assumes their full responsibility. They are not necessarily shared by the Industrial Materials Research Institute or the National Research Council of Canada.

If sufficient requests are received, a copy of this document will be made available in the other official language (French or English).

RÉSUMÉ

Dans la plupart des pays industrialisés, la CAO/FAO est de plus en plus utilisée, particulièrement dans l'industrie des plastiques. Cette étude dresse d'abord un tableau sommaire des perspectives générales que présente cette technologie, et discute brièvement les répercussions socio-économiques de son implantation. On y discute également du potentiel d'applications dans l'industrie des plastiques et plus spécifiquement dans l'industrie canadienne. Par la suite, plusieurs exemples des travaux de recherches et de développement faits à l'étranger sont rapportés. Dans ce contexte, un plan d'action est proposé pour l'Institut de génie des matériaux, pour l'établissement d'un programme de R & D CAO/FAO afin d'optimiser les procédés de mise en forme des plastiques.

ABSTRACT

In all major industrial countries, there is a growth in the use of CAD/CAM technology, particularly in the plastics industry. This study presents a summary of the general perspectives offered by this technology, and discusses briefly the socio-economic implications due to its implementation. We also discuss the potential applications in the plastics industry specifically in Canada. Afterwards, many examples of foreign research and development projects are reported. In this context, a plan of action is proposed for the Industrial Materials Research Institute, establishing CAD/CAM R & D program for the optimization of plastics manufacturing processes.

TABLE DES MATIERES

		Page
INTRODUCTION		
1.	QU'EST-CE QUE LA TECHNOLOGIE CAO/FAO	
1.1	CAO/FAO - SIGLE DE PRODUCTIVITÉ ET DE CRÉATION MULTIDISCIPLINAIRE	1
1.2	ÉVOLUTION ET PERSPECTIVE GÉNÉRALE DE LA CAO/FAO	3
1.3	RÉPERCUSSIONS ET IMPLICATIONS SOCIO-ECONOMIQUES DE LA CAO/FAO	4
2.	LES FAITS SAILLANTS DE LA CAO/FAO DANS L'INDUSTRIE DES PLASTIQUES	
2.1	LE POTENTIEL D'APPLICATIONS DE LA CAO/FAO	6
2.2	L'INDUSTRIE CANADIENNE DES PLASTIQUES ET LA CAO/FAO	8
2.3	APERCU GÉNÉRAL SUR LES TRAVAUX DE RECHERCHES ET DE DÉVELOPPEMENT A L'ÉTRANGER.	10
3.	PLAN D'ACTION PROPOSÉ POUR L'IGM DANS CE DOMAINE	
3.1	PROPOSITION D'UN PROGRAMME DE R & D CAO/FAO POUR LA MISE EN FORME DES PLASTIQUES	14
3.2	PLAN D'INVESTISSEMENT ET D'IMPLANTATION DE CE PROGRAMME	18
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS		23
FIGURES		24
TABLEAUX		34
RÉFÉRENCES		41
ANNEXES		45

LISTE DES FIGURES

		Page
Fig. 1	Le concept de la CAO/FAO	24
Fig. 2	Poste de travail interactif	25
Fig. 3	Evolution historique de la CAO/FAO	26
Fig. 4	Prévision de croissance du marché mondial de la CAO/FAO pour différents secteurs industriels.	27
Fig. 5	Le concept du système de fabrication flexible CAO/FAO	28
Fig. 6	Le rôle de la technologie de groupe dans un système de fabrication flexible.	29
Fig. 7	Prévisions sur l'utilisation des systèmes CAO/FAO pour l'an 1990.	30
Fig. 8	La CAO/FAO et l'industrie mondiale des plastiques	31
Fig. 9	Description des tâches principales et de leur séquence relative.	32
Fig. 10	Besoins en ressources humaines échelonnés sur une période de cinq ans.	33

LISTE DES TABLEAUX

		Page
Tableau 1	Estimation de la croissance annuelle du marché de la CAO/FAO aux Etats-Unis par application	34
Tableau 2	Statistiques sur la croissance des installations CAO/FAO aux Etats-Unis	35
Tableau 3	Rapports de productivité entre la CAO/FAO et les méthodes conventionnelles	36
Tableau 4	Evaluation des retombés économiques majeurs de la CAO/FAO dans l'industrie candienne des plastiques	37
Tableau 5	Estimation des coûts des différentes alternatives	38
Tableau 6	Plan d'achat progressif du système CAO/FAO	39
Tableau 7	Etude comparative de la performance des systèmes CAO/FAO	40

LISTE DES ANNEXES

		Page
Annexe A	Liste partielle des compagnies canadiennes utilisant la CAO/FAO	45
Annexe B	Liste partielle des compagnies américaines utilisant la CAO/FAO dans l'industrie des plastiques	46
Annexe C	Les principales caractéristiques du système choisi	47
Annexe D	Informations techniques sur les systèmes CAO/FAO	48

INTRODUCTION

Les outils de la CAO/FAO "conception et fabrication assistées par ordinateur" sont devenus des ingrédients essentiels à toutes les étapes du processus de production. Ce processus est surtout basé sur les ressources humaines et les outils qui sont mis à leur disposition. Donc, la CAO/FAO vise essentiellement à forger l'expérience technique du personnel à la puissance de l'informatique.

L'objectif principal de cette étude est la mise en évidence des possibilités de cette technologie dans l'augmentation de la productivité, tout particulièrement dans l'industrie des plastiques. Aussi, l'expansion du marché canadien des plastiques, la demande croissante des produits de haute qualité avec des délais de livraison très courts sont des facteurs importants à l'origine de cette recherche. L'étude contiendra une évaluation du potentiel de l'industrie canadienne des plastiques quant aux applications de la CAO/FAO. A la lumière de ceci, un plan d'action est proposé pour l'Institut de génie des matériaux dans ce domaine.

1. QU'EST-CE QUE LA TECHNOLOGIE CAO/FAO

1.1 CAO/FAO - SIGLE DE PRODUCTIVITÉ ET DE CRÉATION MULTIDISCIPLINAIRE

La CAO/FAO est devenue le facteur le plus radical de la décennie dans l'industrie manufacturière. Cette technologie affecte déjà l'ensemble du cycle de développement d'un produit, de son concept original jusqu'à la fabrication de ce dernier. Il n'est guère possible de donner une définition précise à la CAO/FAO, car elle est à l'ordre du jour et ses frontières évoluent constamment. Cependant, il est convenu de dire qu'une personne fait de la CAO/FAO lorsqu'elle dialogue avec un système informatisé soit en utilisant une console graphique ou alphanumérique en vue de concevoir ou fabriquer un objet.

Dans son rôle principal de favoriser la liaison conception-fabrication, la CAO/FAO offre une méthodologie unique au service de l'utilisateur; voir figure 1 pour l'illustration de ce concept. Ici le dialogue concepteur-écran graphique, présente une certaine similitude avec le diaglogue naturel opérateur-machine. La figure 2 montre les principaux éléments d'un poste de travail interactif [1]. Avec un tel poste, il est possible de définir et d'évaluer la performance d'un objet, de manipuler les informations graphiques et alphanumériques ou bien de communiquer avec une machine-outil à commande numérique. Cette communication rapide représente toujours l'élément majeur de la productivité d'une entreprise. En jouant le rôle de catalyseur entre les différentes fonctions de l'ingénierie, la CAO/FAO est surtout destinée aux groupes suivants:

- concepteurs et ingénieurs de bureaux d'études,
- analystes des méthodes de fabrication,
- ingénieurs de procédés et techniciens d'usine,
- programmeurs de machines à commande numérique,
- dessinateurs industriels, etc.

A travers un langage commun adapté aux besoins de l'entreprise, la CAO/FAO offre à ses utilisateurs plusieurs possibilités dont voici les principales:

a) Une assistance à la création et la définition d'un système, d'un modèle ou d'un produit.

b) Un pouvoir décisionnel qualitatif et quantitatif lors de la conception et de l'évaluation d'un système.

c) La consultation des fichiers de pièces et des données numériques sur les propriétés des matériaux.

d) La conception de l'équipement et de l'outillage nécessaires à la production.

e) L'évaluation des performances d'un modèle en simulant les conditions de chargement.

f) L'intervention directe sur le modèle pour explorer certaines modifications géométriques ou des nouveaux paramètres d'opération.

g) La génération des instructions pour la commande des machines à contrôle numérique servant à la fabrication.

h) La planification des procédés en définissant la nature et la séquence des opérations.

i) Le contrôle de l'inventaire et des échéanciers de production.

j) Le contrôle de la qualité à travers un système d'inspection et d'évaluation automatisé.

k) L'intégration de toutes les fonctions de l'entreprise dans un système de fabrication flexible.

Donc la CAO/FAO est l'intégration d'une philosophie d'utilisation de l'ordinateur dans le processus de développement des produits, avec le personnel, les procédures et les programmes. La CAO/FAO permet la mise au point d'un produit avec une économie considérable de temps. On peut conduire une étude complète sur un objet sans nécessairement passer par un prototype. L'utilisation de cette technologie apporte une amélioration sensible à la productivité, développe le sens de l'organisation de l'entreprise et amplifie la capacité créatrice du personnel [2, 3].

1.2 ÉVOLUTION ET PERSPECTIVE GÉNÉRALE DE LA CAO/FAO

La figure 3 montre la progression et le développement historique du concept de la CAO/FAO qui entre aujourd'hui dans une ère de croissance exponentielle [4]. L'évolution de cette technologie dépend de deux facteurs importants soit la performance de l'équipement et le bénéfice de l'utilisateur. La CAO/FAO n'est pas une technologie à caractère unique car elle peut être adaptée au type d'entreprise où elle est implantée. L'expansion de cette technologie dépendra donc du développement de nouveaux modules d'applications orientés vers les différents secteurs de l'industrie. La figure 4 présente les prévisions de croissance du marché mondial selon le type d'application [5].

Ainsi pour la période 1980-1986, le nombre de postes de travail graphiques interactifs passera de 17,000 unités à 100,000 au niveau mondial. Pendant la même période, les ventes passeront de 900 millions à 5.8 milliards de dollars par année. Les tableaux 1 et 2 illustrent respectivement la progression des installations CAO/FAO et celle du marché américain pour divers secteurs d'activités [6]. Actuellement, l'intégration complète des fonctions d'une entreprise soit la conception, la fabrication, la planification et le contrôle constitue l'étape la plus difficile de la CAO/FAO. Cette intégration sera faite dans une structure modulaire composée de plusieurs sous-ensembles tel qu'illustré à la figure 5, le tout formant un système de fabrication flexible.

Dans une telle perspective, l'information accumulée par l'ingénierie de conception sera disponible à l'ingénierie de fabrication et vice versa. C'est dans le couplage des principes de design et des exigences de la fabrication que la réalisation des concepts sera plus efficace. Tel que montré à la figure 6, le rôle de la technologie de groupe deviendra de plus en plus nécessaire pour l'uniformisation et la standardisation des données. Ceci réduira considérablement le temps et le coût de transfert des données entre les diverses fonctions de l'entreprise. La figure 7 montre les

résultats d'une enquête menée par CAM-I "Computer Aided Manufacturing International" sur les tendances d'utilisation des systèmes CAO/FAO pour l'an 1990. De même le tableau 3 montre quelques rapports de productivité entre la CAO/FAO et les méthodes conventionnelles.

1.3 RÉPERCUSSIONS ET IMPLICATIONS SOCIO-ÉCONOMIQUES DE LA CAO/FAO

A l'heure actuelle, l'adaptation de cette technologie au milieu industriel, nécessite généralement une restructuration du processus de travail dans l'entreprise. Il est nécessaire de résoudre certains problèmes reliés à la distribution des tâches et à l'assignation du personnel. Il y a donc des changements qui touchent les méthodes de travail, et par conséquent la discipline des individus. Il faut noter qu'avec la CAO/FAO les connaissances techniques se trouvent concrétisées dans une représentation sensible et apparente. A travers ce langage visuel, l'expression prend une très grande force de suggestion et d'évidence.

Nombreux sont ceux qui croient que la CAO/FAO enlèvera de l'emploi mais il faut surtout chercher à déterminer comment elle peut les transformer et en créer d'autres. Il faut aussi signaler que l'incapacité d'utiliser cette technologie risque de provoquer des pertes d'emplois encore plus dramatiques. Il faut rappeler que la CAO/FAO nécessite un grand nombre de spécialistes pour son développement et son utilisation et de ce fait génère plusieurs emplois [7].

Il faut voir la CAO/FAO comme un complément et non un substitut de la force intellectuelle. C'est de cette façon que se construira le nouveau tissu industriel, et tout projet de dévelopement doit s'en inspirer. Lors de l'implantation de la CAO/FAO dans une entreprise, il est recommandable d'y associer une portion importante du personnel, de sorte qu'ils y trouvent l'occasion de mettre en valeur ses connaissances. Il se développe ainsi un sens de la productivité et une volonté de travail coopératif qui est la clef de la réussite [8].

Bien sûr, la taille de l'entreprise est un facteur important surtout au niveau des ressources financières. Pourtant, des effets très positifs ont été enregistrés chez la petite et moyenne entreprise. La CAO/FAO n'étant pas seulement un outil de production, mais aussi un facteur de développement [9]. Finalement, l'accumulation des données doit se faire avec prudence, sinon elle peut entraîner la saturation de la réflexion chez l'individu. Donc l'une des préocupations sera le filtrage des données de façon à présenter une image simplifiée pour les travaux d'analyse, de synthèse ou d'interprétation [10].

2. LES FAITS SAILLANTS DE LA CAO/FAO DANS L'INDUSTRIE DES PLASTIQUES

2.1 LE POTENTIEL D'APPLICATIONS DE LA CAO/FAO

Bien que la CAO/FAO ait été exploitée initialement par l'industrie aéronautique, elle n'est plus de la science fiction pour l'industrie des plastiques. La CAO/FAO s'est introduite progressivement dans cette industrie dès le début des années 70, surtout dans le processus d'usinage des moules. Ce n'est que vers la fin de 1978 qu'on a adopté cette technologie à la conception des pièces, de l'outillage et de l'équipement. La demande croissante de produits de qualité et la pression exercée auprès des manufacturiers pour des livraisons plus rapides, ont obligé l'industrie à se tourner vers la CAO/FAO. Présentement, des progrès sont réalisés au niveau de la standardisation des méthodes, de la préparation des dessins et de la commande automatique des machines. Ainsi, les transformateurs et les moulistes peuvent améliorer l'outillage et mieux contrôler les conditions d'opération lors de la mise en oeuvre. Voici une liste d'activités qui résume le potentiel d'applications de cette technologie dans l'industrie des plastiques:

a) la sélection des matériaux selon les exigences de l'application.
b) La construction de l'outillage à l'aide d'éléments standardisés.
c) La production et la modification rapide des dessins.
d) L'analyse du cycle de production et l'évaluation du coût des produits.
e) L'optimisation des paramètres de moulage; durée du cycle, pression et température.
f) La conception optimale des produits à travers un meilleur équilibrage des débits et des pressions.
g) La détermination du profil de température, et du temps de refroidissement.
h) L'analyse des contraintes et des déformations lors de la conception des produits, des éléments des moules ou des machines.

i) L'usage des robots pour le chargement des inserts, le transfert entre stations, le placage, les traitements thermiques et l'application d'adhésif ou de lubrifiant, etc.

j) La programmation de la paraison dans le procédé de moulage par soufflage.

k) La fabrication des modèles et des électrodes pour l'usinage par étincelage, avec les corrections programmées pour le retrait au moulage.

l) La vérification du tracé de l'outil de coupe pour l'usinage des cavités complexes.

m) L'usinage des éléments symétriques, des pièces mâles et femelles avec un seul programme et la technique de l'image miroir.

Certaines entreprises disent avoir réalisé des économies importantes en utilisant cette technologie. En voici deux exemples: grâce à une meilleure conception des moules, la compagnie General Electric dit avoir réalisé une économie de 100 millions de dollars/an [11].
De même, chez Firestone Tire and Rubber, le temps nécessaire au développement d'un moule pour un pneu a été réduit de 21 à 2.5 jours. Cette compagnie dit avoir utilisé quelques 400 sous-routines pour compléter l'analyse et le dessin d'un nouveau moule [12]. Ces exemples montrent à quel point la CAO/FAO peut être importante pour l'industrie.

L'introduction de la CAO/FAO dans l'industrie des plastiques représente aussi un moyen de formation efficace, apportant ainsi une solution à une pénurie constante de personnel qualifié. Elle peut également aider cette industrie à améliorer sa productivité par:

- la mise au point de produits de haute qualité,
- la réduction des délais de livraison,
- la diminution des coûts de production,
- la standardisation des méthodes de travail.

2.2 L'INDUSTRIE CANADIENNE DES PLASTIQUES ET LA CAO/FAO

Il ne fait aucun doute que la CAO/FAO est présente dans l'industrie canadienne des plastiques. L'utilisation des systèmes informatisés date de 1975 avec l'introduction des mini-ordinateurs et des microprocesseurs [13]. Jusqu'à maintenant, les applications sont surtout limitées au contrôle de la production et des procédés de fabrication. Les mini-ordinateurs sont utilisés pour contrôler les horaires de production et pour la préparation des statistiques sur le taux de rejet, le calcul du rendement et l'usage du matériel. Ils sont aussi utilisés pour contrôler les finances de l'entreprise et faire des estimations de coûts. Les microprocesseurs, eux, sont principalement utilisés dans le contrôle et la régulation automatique. Ainsi, les conditions d'opération sont vérifiées et corrigées pendant le moulage ou lors de l'usinage du moule par le mouliste. Aujourd'hui, sur environ 250 moulistes au Canada, 30% possèdent déjà des machines à contrôle numérique et leur nombre ne cesse d'augmenter. Le nombre de ces installations au Canada a augmenté de 31% en 1981 par rapport à celui de 1980 [14].

Récemment, plusieurs collèges techniques ont installé des systèmes CAO/FAO pour la formation d'un personnel qualifié destiné à l'industrie des plastiques. C'est le cas des collèges Mohawk, Seneca, Durham et George Brown en Ontario. L'enquête réalisée par l'association des manufacturiers canadiens et le ministère de l'industrie et du commerce, révèle un intérêt grandissant de la part des répondants pour la CAO/FAO [15]. Il faut noter les travaux de recherches du département de génie mécanique à l'université de Colombie-Britannique à Vancouver et ceux de CIM ("Canadian Institute of Metalworking") à Hamilton. Ces travaux sont orientés vers la modélisation des surfaces complexes et vers les procédés d'usinage des moules avec les machines-outils à commande numérique.

Pourtant, peu de compagnies canadiennes utilisent la CAO/FAO pour la totalité du cycle de développement d'un produit incluant la conception, l'analyse et la fabrication. A l'exception de quelques grandes entreprises

captives qui possèdent ce genre de facilités, le nombre de ces installations chez les petits manufacturiers est plutôt modeste. Une liste partielle d'utilisateurs de la CAO/FAO au Canada, dont certains sont impliqués dans le domaine des plastiques, est donnée en annexe A. Au Canada le marché de la CAO/FAO en 1981 était de 35 millions. A l'heure actuelle, plusieurs moules destinés à l'industrie canadienne sont analysés, construits et mis au point aux Etats-Unis, au Japon et en Europe. Parmi ceux qui sont construits aux Etats-Unis, un bon nombre est installé chez des transformateurs américains, et les produits finis sont expédiés au Canada pour pour fin d'assemblage. On peut voir en cela un déplacement vers l'étranger des tâches qui sont liées au cycle de développement naturel de la CAO/FAO dans l'industrie canadienne. Peu de transformateurs au Canada utilisent les robots dans leurs opérations de moulage. A cet égard, on est loin de la moyenne mondiale où l'industrie des plastiques occupe la deuxième place avec 13% des installations des robots industriels, après l'industrie de l'automobile [16, 17].

Dans ce contexte, il faut regarder le déficit de la balance commerciale pour le secteur des plastiques. Ce déficit se situe autour de 1.25 milliards de dollars dont 65% est dû aux importations des produits finis et des équipements [18]. En 1981, l'industrie des plastiques au Canada était le troisième plus grand employeur dans le secteur manufacturier, avec 60,000 emplois directs et un marché domestique de 5.6 milliards. Sur un total de 2,000 entreprises incluant les transformateurs, les moulistes et les fournisseurs de matière première, environ 250 entreprises ont 100 employés et plus. Pendant l'année 1981, les exportations représentaient 420 millions de dollars pour les produits finis et 105 millions pour les moules. Au Canada, nous avons estimé le marché annuel des moules à environ 5,000 moules totalisant une valeur approximative de 250 millions de dollars [19].

Malgré l'existence de signes encourageants, nous avons un retard quant au nombre d'installations des systèmes CAO/FAO par rapport à d'autres pays industrialisés. Bientôt le marché ne pourra plus tolérer cet état de chose.

2.3 APERCU GÉNÉRAL SUR LES TRAVAUX DE RECHERCHES ET DE DÉVELOPPEMENT A L'ÉTRANGER

La demande croissante des produits de haute qualité a contribué avec les effets de l'inflation, à mettre en valeur les programmes de recherches et de développement de la CAO/FAO tel que illustré à la figure 8. Le système "MOLD FLOW" est une des réalisations premières d'une recherche scientifique sur l'écoulement dans les moules à injection. Ce système a été développé par un groupe de chercheurs dirigé par Colin Austin en Australie entre 1975 et 1978. Actuellement le système est commercialisé par la compagnie General Electric à travers son réseau informatique MARK III [20]. Ce programme repose sur deux principes de base, soit l'équilibrage des débits et la constance du gradient de pression dans le moule. Tout en permettant une simulation du remplissage du moule, le système offre les possibilités suivantes:

a) le dimensionnement du système d'alimentation,
b) la détermination des conditions optimum de moulage,
c) l'analyse des effets du taux de cisaillement de la matière,
d) la conception optimale du produit par des modifications apportées à la forme, aux épaisseurs et à la matière première.

En 1979, l'année de l'introduction du programme "MOLD FLOW" sur le marché, 2,000 moules ont été analysés avec ce système dans une proportion de 60% aux Etats-Unis, 30% au Japon et 10% en Europe. Il faut noter l'existence de 5,000 compagnies américaines spécialisées dans la fabrication des moules. En Europe, plusieurs villes sont desservies par des centres d'assistance technique de GE, particulièrement à Evry en France, Russelsheim en Allemagne, Milan en Italie, Amsterdam en Hollande et Warrington en Angleterre. Voici à titre d'exemple les grandes sociétés qui ont expérimenté le système "MOLD FLOW" [21].

- SECTEUR MATIERE PREMIERE:
  General Electric, Mitsubishi Chemicals, Montedison, Snia Viscosa.

- SECTEUR ÉLECTROMÉNAGER:
  General Electric, Hitachi, Matsushita, Sony, Toshiba

- SECTEUR AUTOMOBILE:
  General Motors, Toyota, Mazda, Mitsubishi Motors

- SECTEUR ÉLECTRONIQUE:
  Minolta, Kodak, Olivetti, Ticino, ITT, Canon

Très récemment, les travaux de recherches à la compagnie "Application Engineering Corp." ont abouti à la commercialisation d'un autre système qui s'appelle "MOLD COOL", pour l'analyse thermique des moules. Ce système est disponible dans quelques 600 villes à travers le monde par l'intermédiaire du service d'information de la compagnie General Electric, (GEISCO) [22, 23]. Développé initialement pour l'étude des moules à injection, le programme "MOLD COOL" a été adapté ultérieurement aux procédés de soufflage et de thermoformage, et au moulage des thermodurcissables. On peut simuler le transfert de chaleur dans le moule en régime transitoire et concevoir le système de refroidissement en faisant intervenir:

a) le calcul de la quantité de chaleur et des pertes de pression dans le circuit de refroidissement,
b) l'optimisation du cycle de moulage avec les paramètres d'opération (débit, pression, température).

La compagnie General Electric aux Etats-Unis a décidé d'augmenter la productivité du procédé de moulage par injection en adoptant la CAO/FAO [24]. Il faut noter que GE possède environ 1,000 presses en service et transforme quelques 130 millions de livres de plastique annuellement. De même, chez General Motors on rencontre l'un des programmes le plus avancé pour la génération des images miroirs et des modèles solides [25]. General Motors construit plus de 1,000 moules et transforme environ 600 millions de livres de plastique par année.

Au niveau de la fabrication, les travaux de la compagnie "National Computer System" à Minneapolis ont permis la mise au

point de trois programmes: "COMPUGRAPHICS", "COMPUSCANNER" et "COMPUMILL". Ces programmes servent à la définition numérique des pièces, l'acquisition des mesures en 3D d'un prototype et l'usinage du moule [26]. Un autre programme de recherches important est celui de l'université Cornell dans l'état de New York. En plus de l'analyse de l'écoulement et du système de refroidissement, leur programme permet de dimensionner et de sélectionner les éléments du moule [27]. Il permet aussi la génération des rubans pour l'usinage sur les machines à contrôle numérique. Ces travaux sont parrainés par "The National Science Foundation" et un Consortium industriel incluant des compagnies comme GM, GE et autres. Une liste partielle des compagnies américaines utilisant la CAO/FAO dans l'industrie des plastiques est donnée en annexe B.

En Grande Bretagne, parmi les multiples projets du centre CAO/FAO à Cambridge, on peut citer les programmes "POLYSURF" et "DUCT" destinés à l'usinage des moules et matrices. Des tracés d'outils pour l'usinage des surfaces complexes peuvent être générés à l'aide de ces programmes et vérifiés sur écran graphique [28]. D'autres centres de recherches ont largement contribué à l'avancement de la technologie CAO/FAO dans l'industrie des plastiques, tels que les centres d'ingénierie de production à Glasgow, à Salford et à Birmingham. On signale aussi les travaux de recherches entrepris par le département de génie mécanique à "l'Imperial College" de Londres et le département des polymères à l'université de Manchester [29, 30].

En Allemagne fédérale, plusieurs programmes de recherches et de développement de la CAO/FAO, ont été établis depuis 1975 à l'Institut de transformation des plastiques (IKV) à Aachen et à l'Institut Allemand des plastiques (DKI) à Darmstadt. Certains de ces travaux de recherches sont rapportés par (RAPRA) "Rubber and Plastics Research Association" et dans les éditions (VDI) "Verlag Dusseldorf Institute". Dans le cadre du programme CADIM "Computer Aided Design for Injection Molds", des matrices de décision ont été développées pour la sélection du type de moule et le calcul du nombre de cavités optimum. Aussi des programmes

ont été développés pour l'analyse des contraintes et des déformations dans les éléments du moule, pour l'analyse de l'écoulement de la résine et pour le choix des matériaux [31, 32, 33].

En France, l'emploi grandissant des ordinateurs dans les procédés de mise en forme des plastiques a nécessité l'instauration de plusieurs programmes de recherches CAO/FAO. Les projets se situent généralement au niveau de la conception de l'outillage et de l'optimisation de la conduite automatique des machines. Les travaux du Centre d'études techniques des industries mécaniques (CETIM) constituent une large contribution pour l'avancement de la CAO/FAO, tout particulièrement aux établissements de Nantes spécialisés dans la conception de l'outillage des plastiques et caoutchoucs. Une méthodologie de design a été mise au point, avec des programmes de calcul, des épures et des abaques [34, 35]. On signale des travaux similaires à l'École nationale des matières plastiques d'Yonnax, au Centre de mise en forme des matériaux et au Centre d'étude des matières plastiques à Paris [36].

Au Japon, l'introduction de la CAO/FAO dans l'industrie des plastiques date de 1978 avec le développement du système CAD-M, "Computer Aided Design, Drawing and Manufacturing for Dies and Molds" [37]. Ce programme qui a été développé par Matsushita Electric Industrial Co. est de construction modulaire et flexible. Il a trois objectifs principaux qui sont les suivants:

1. l'optimisation de la conception des matrices et moules complexes pour l'industrie électronique,
2. l'automatisation et l'uniformisation des procédures de dessin de l'outillage,
3. l'assistance aux moulistes dans la fabrication avec les machines à contrôle numérique.

D'autres travaux de recherches pour la conception de moules, assistée par ordinateur, ont été entrepris par des compagnies comme Toshiba Machine, Fujitsu Kasei et Sekisui Machinery [38].

3. PLAN D'ACTION PROPOSÉ POUR L'IGM DANS CE DOMAINE

3.1 PROPOSITION D'UN PROGRAMME DE R & D CAO/FAO POUR LA MISE EN FORME DES PLASTIQUES.

Dans cette conjoncture, il existe donc un besoin au niveau national pour accélérer le développement de la CAO/FAO dans l'industrie des plastiques. L'amélioration de la productivité ne pourra se réaliser que par la mise en oeuvre de cette technologie et à travers une meilleure utilisation de ces techniques. C'est la voie du futur, consensus sur lequel s'entendent les transformateurs et les moulistes canadiens. Car l'industrie des plastiques fait l'objet d'une vive concurrence de la part des fournisseurs étrangers, concurrence qui risque de s'accentuer dans les années à venir. L'Institut de génie des matériaux pourra jouer un rôle important dans l'avancement de cette technologie. La mission CAO/FAO de l'IGM au Canada, sera semblable à celle des autres organisations de recherches à l'étranger. Ainsi, nous recommandons l'établissement d'un programme CAO/FAO dans ce champ d'activités à l'IGM avec les objectifs suivants:

1. Le développement des outils pour l'analyse et la simulation des procédés de mise en forme des plastiques.
2. L'intégration de ces outils dans les processus de conception et de fabrication des produits et de l'outillage.
3. La promotion des techniques d'automatisation dans l'industrie canadienne des plastiques à travers des publications, des conférences et des démonstrations.
4. L'assistance au développement des idées innovatrices pour stimuler le marché par le biais de nouvelles applications.

Dans le cadre de ce programme, les activités de recherches seront orientées vers la génération des logiciels notamment dans les domaines d'analyse et de documentation. Une première phase consistera à développer une base de données pour faciliter l'accès aux propriétés physiques des matériaux, leurs caractéristiques de mise en forme ainsi qu'à des éléments de géométrie standardisés. De plus, elle contiendra

des critères et des standards servant de guide dans le processus de développement des produits. Voici d'ailleurs les avantages de cette base de données:

a) réduire les erreurs de design.
b) Simplifier la formation du personnel.
c) Offrir une méthodologie de design sélective et uniforme.
d) Améliorer la productivité.
e) Optimiser le coût du produit.

Le développement de cette base de données implique la collection, la synthèse et l'intégration d'items interreliés tout en tenant compte de leur organisation aux niveaux logique et physique. Donc celui qui est vu par l'utilisateur et celui qui concerne l'arrangement de ces données en mémoire. A ce sujet, nous suggérons l'adoption du modèle relationnel avec une base de données distributive [39].

En deuxième lieu, des outils analytiques doivent être développés pour étudier l'écoulement de la résine, le transfert de chaleur et les contraintes dans les moules. La figure 9 montre ces tâches principales avec leur séquence relative. Pendant la phase initiale du programme, les travaux seront plutôt orientés vers le procédé de moulage par injection. Néanmoins à moyen terme, ces activités peuvent être étendues aux autres procédés tels que l'extrusion, le soufflage et le moulage par compression. Pour une stratégie à long terme, nous proposons le modèle suivant comme base pour la distribution des efforts dans ces différents secteurs:

- Moulage par injection 50%
- Moulage par compression 20%
- Moulage par extrusion/soufflage 20%
- Autres procédés 10%

En effet, chacune de ces tâches principales décrites ci-haut, représente un certain nombre de projets de recherches. Ces projets seront définis par objectif avec un plan d'exécution précis et un examen des résultats sera préalable à toute modification. L'intégration des résultats

de ces projets au processus de design aboutira à la génération des modules d'application. Ces modules peuvent être offerts directement aux entreprises ou par l'intermédiaire d'un agent qui assurera leur commercialisation. Avec une telle perspective, les compagnies canadiennes n'hésiteront pas à investir davantage en matériel automatique pour accroître leur productivité. L'évaluation des avantages économiques nécessite des assomptions de base concernant le potentiel et les bénéfices de la CAO/FAO dans l'industrie canadienne des plastiques. Ces hypothèses sont énumérées ci-dessous et l'évaluation des économies à réaliser est montrée au tableau 4:

1. Que pour la période (1983-1990), 150 systèmes seront installés dans une partie de l'industrie des plastiques représentant environ 15 000 emplois avec le profil suivant:
   - . 20 installations chez les compagnies de 20 à 50 employés, soit 3% du potentiel total.
   - . 50 installations chez les compagnies de 50 à 100 employés, soit 15% du potentiel total.
   - . 80 installations chez les compagnies de 100 employés et plus, soit 40% du potentiel total.
2. Que 25% de la valeur totale des produits finis sera contrôlé par la CAO/FAO en 1990.
3. Que le cycle de production qui représente environ 50% du coût du produit sera diminué de 15% par rapport à la méthode conventionnelle.
4. Que l'optimisation des conditions d'opération, de la conception des pièces et de l'outillage se traduirait par une réduction du taux de rebut de 5%.

Donc pendant la période (83-90), l'introduction progressive de la CAO/FAO dans l'industrie canadienne des plastiques aura des effets très bénéfiques. Pour un investissement en capital de l'ordre de 75 millions de dollars les économies directes seront de l'ordre de 850 millions auxquelles s'ajoutent les avantages suivants:

- augmentation de la productivité pendant la phase de conception, dans un rapport de 1.7 à 2.5;

- augmentation de la productivité pendant la préparation des rubans magnétiques destinés à l'usinage des moules, dans un rapport de 2.5 à 2.75;
- diminution importante des délais de livraison de l'outillage qui varient actuellement entre 6 et 18 mois;
- diminution importante du cycle de développement des produits.

3.2 PLAN D'INVESTISSEMENT ET D'IMPLANTATION DE CE PROGRAMME

L'établissement d'un tel programme à l'IGM nécessite la définition des besoins relatifs au personnel requis et au capital à investir. La figure 10 montre les besoins en ressources humaines échelonnés sur une période de 5 ans. Voici d'ailleurs le profil de ce personnel avec la description des tâches principales correspondantes:

a) Un ingénieur chef de projet, chargé du développement, de la coordination et de l'intégration des activités CAO/FAO ainsi que du transfert de cette technologie à l'industrie.

b) Un ingénieur pour la modélisation de l'écoulement de la matière dans les procédés de mise en forme des plastiques.

c) Deux ingénieurs pour développer des outils d'analyse relatifs aux problèmes de transfert de chaleur, des contraintes et des déformations, avec les méthodes analytiques ou numériques.

d) Deux ingénieurs pour développer les outils de conception assistée par ordinateur, tels que les procédures de design, les critères et les standards selon les applications et les matériaux utilisés.

e) Un ingénieur pour aider à la planification des opérations avec le système, et pour assister au développement des programmes d'analyse et des modules de design interactif.

f) Un ingénieur pour développer les programmes nécessaires à la fabrication assistée par ordinateur.

g) Un ingénieur pour concevoir la structure de la base de données.

h) Un technicien pour assister au développement de la base de données en collaboration avec les autres chercheurs.

i) Un technicien pour opérer le poste de travail graphique interactif et répondre aux besoins des chercheurs dans les divers projets en cours.

j) Un technicien pour assister les chercheurs dans les problèmes reliés à la fabrication.

Quant à l'installation d'un système CAO/FAO à l'IGM, cette question doit être traiter avec une approche globale. C'est-à-dire qu'il faut tenir compte des objectifs fort diversifiés de l'Institut et de la possibilité d'expansion des activités CAO/FAO dans le futur.

En effet, plusieurs alternatives ont été considérées dont voici les plus importantes:

1. L'achat d'un système CAO/FAO complètement autonome, donc indépendant du système interne actuel.
2. La construction d'un poste de travail autour du système interne (VAX 11/750) en mode distributif ou en temps partagé.
3. La location d'un poste de travail qui communique directement avec le système du fournisseur.
4. La formation d'une station satellite autour du sytème central du CNRC à Ottawa.

Nous proposons l'alternative n° 2 qui prévoit la construction d'un poste de travail graphique interactif autour du VAX 11/750. La dépendance du VAX est au niveau de l'exécution des gros programmes de calcul et pour accommoder le logiciel des modèles solides. Le choix de cette alternative est basé sur les éléments suivants:

1. Une meilleure performance et un investissement progressif.
2. Un potentiel d'expansion et une flexibilité supérieure.
3. Un contrôle interne adéquat des opérations avec le système.
4. Une compatibilité avec le VAX et un coût d'opération réduit.

L'alternative n° 1 n'offre aucune flexibilité pour des modifications subséquentes et reste l'option la plus coûteuse. Une comparaison des coûts des différentes alternatives est montrée au tableau 5. La 3^{e} alternative n'est pas retenue car le coût de location est très élevé. De même, l'alternative n° 4 est éliminée car le coût d'opération n'est pas négligeable. Une estimation du coût de l'alternative choisie est illustrée au tableau 6 avec un programme d'achat progressif. Une demande de prix et de disponibilité a été envoyée à plusieurs fournisseurs de systèmes CAO/FAO. Cette demande décrit principalement les points suivants:

- l'objectif technique global.
- Les besoins en équipement.
- Les besoins en logiciel.

- Le support technique, l'entretien et la formation du personnel.
- Les conditions générales.

Pour comparer la performance des différents systèmes, une technique d'évaluation a été utilisée tel que montré au tableau 7 [40]. Des poids ont été attribués à certains critères reflétant ainsi leur importance relative sur la décision globale. Il est évident que les différences que comportaient les propositions avancées par les fournisseurs rendaient l'analyse plus complexe. Cinq systèmes ont été retenus pour cette évaluation technique et ils sont présentés par ordre alphabétique au tableau 7, selon les noms de leur fournisseurs correspondants;

A - Applicon, division de Schlumberger Technology Corp.
B - Auto-trol Technology Corp.
C - Calma, division de General Electric Co.
D - Computervision Corp.
E - McAuto, division de McDonnell Douglas Corp.

Le système (A) de la compagnie Applicon a été choisi conformément aux résultats de cette analyse. Les principales caractéristiques de ce système sont données en annexe C, ainsi qu'une liste des principaux utilisateurs d'Applicon à travers le monde. Tel que montré, au tableau 7, 25% des points sont accordés à l'équipement avec trois critères de base, soit la technologie utilisée, les possibilités d'expansion et le degré de compatibilité avec l'opération interne (VAX 11/750). En ce qui concerne les terminaux graphiques, le système choisi présente un avantage considérable par rapport aux autres systèmes. A cet égard, Applicon utilise la technologie "Raster Scan" la plus avancée sur le marché, avec une perception améliorée de l'image (Perception-Enhanced Resolution Logic). La compagnie Applicon a été la première à introduire la technologie "Raster" sur le marché de la CAO/FAO en 1978. D'autre part, le système d'Applicon est basé sur les processeurs de "Digital Equipment Corp.", donc complètement compatible avec le VAX 11/750 déjà installé à l'IGM. La structure modulaire de ce système est très

avantageuse car elle permet une expansion future progressive et un meilleur contrôle de l'investissement. A ce sujet, les autres systèmes sont soit incompatibles (B, C, D) avec le VAX 11/750, soit limités à 1 ou 2 postes de travail graphiques interactifs. A noter que les logiciels des systèmes (B) et (E) peuvent être installés sur le VAX mais avec un mode d'opération partagé (shared logic), limitant ainsi la performance recherchée.

De même, le tableau 7 montre que 50% des points sont attribués à cinq critères de base pour évaluer la performance du logiciel. Par exemple, au niveau du design, le système choisi est le plus sophistiqué car il offre une technique de commande avancée appelée "Tablet Symbol Recognition" permettant une productivité accrue comparativement aux autres systèmes. Cette technique est très souhaitable pour un milieu de recherche et de développement, à l'encontre de celle du type "tutorial" ou "driven menu". Aussi la compagnie Applicon a été la première à introduire le logiciel pour la modélisation des solides en 1981. Ce logiciel a été développé initialement par "Mathematical Application Group Inc." (MAGI), sous un programme parrainé par le département de la défense nationale des Etats-Unis. A noter que les logiciels de base offerts par Applicon et Computervision sont les plus intégrés et les plus versatils supportant ainsi une large gamme d'applications.

Finalement, 25% des points ont été attribués aux deux derniers critères dont le support technique et la stabilité du système sur le marché. A ce sujet, la compagnie qui a été fondée en 1969 est l'un des premiers pionniers de la CAO/FAO. Avec approximativement 500 ingénieurs de service, la compagnie Applicon supporte quelques 1500 installations CAO/FAO à travers le monde. Très récemment la formation du groupe (Applicon - MDSI) au sein de Schlumberger Technology Corporation ne fait que renforcer la position de ce système sur le marché. Car la compagnie (MDSI) "Manufacturing Data System Inc." est la première au monde pour ses services dans l'usinage à contrôle numérique. Cette association reflète davantage les efforts considérables de R&D pour l'intégration de la CAO/FAO. Ceci donnera certainement

une avance technologique importante au système d'Applicon par rapport aux autres systèmes.

N.B.: D'autres informations techniques sur les systèmes CAO/FAO sont disponibles en annexe D.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La technologie CAO/FAO s'est imposée sur la scène internationale, et l'industrie canadienne des plastiques se doit de l'adopter pour demeurer compétitive. Toutefois, le succès de la CAO/FAO dépend largement de la capacité et de la motivation du personnel de l'entreprise. Il faut admettre qu'une résistance au changement et une tendance à conserver les méthodes déjà établies sont tout à fait naturelles. Pour les compagnies de petite taille, l'adoption de cette technologie est à la fois un défi et un outil de développement. Car avec la CAO/FAO, les problèmes peuvent être résolus plus rapidement, assurant à ces compagnies une plus grande versatilité qui représente leur force première. Les applications de la CAO/FAO continueront à gagner du terrain, mais elles seront toujours conditionnées par la nature et la diversité de l'entreprise.

Le programme de recherche proposé s'adresse principalement aux moulistes, aux transformateurs et aux concepteurs de produits. L'IGM pourra donc jouer un rôle très important dans le développement et la promotion de la CAO/FAO à travers l'industrie des plastiques. Cependant, l'expérience ainsi acquise dans ce domaine permettra à l'IGM d'entrevoir des programmes de recherche semblables avec les métaux, les verres et les céramiques. Par exemple la coulée sous pression, le forgeage et l'extrusion des métaux, etc.

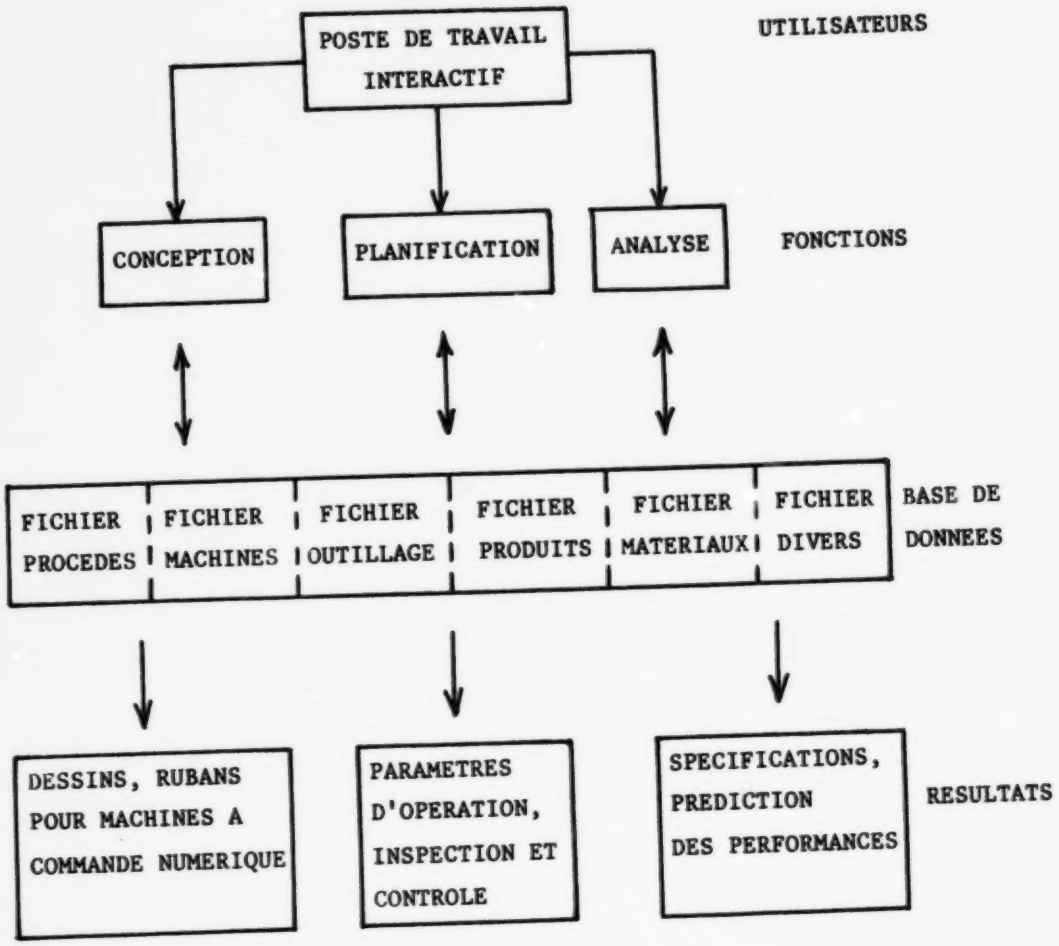


FIG. 1 LE CONCEPT DE LA CAO/FAO

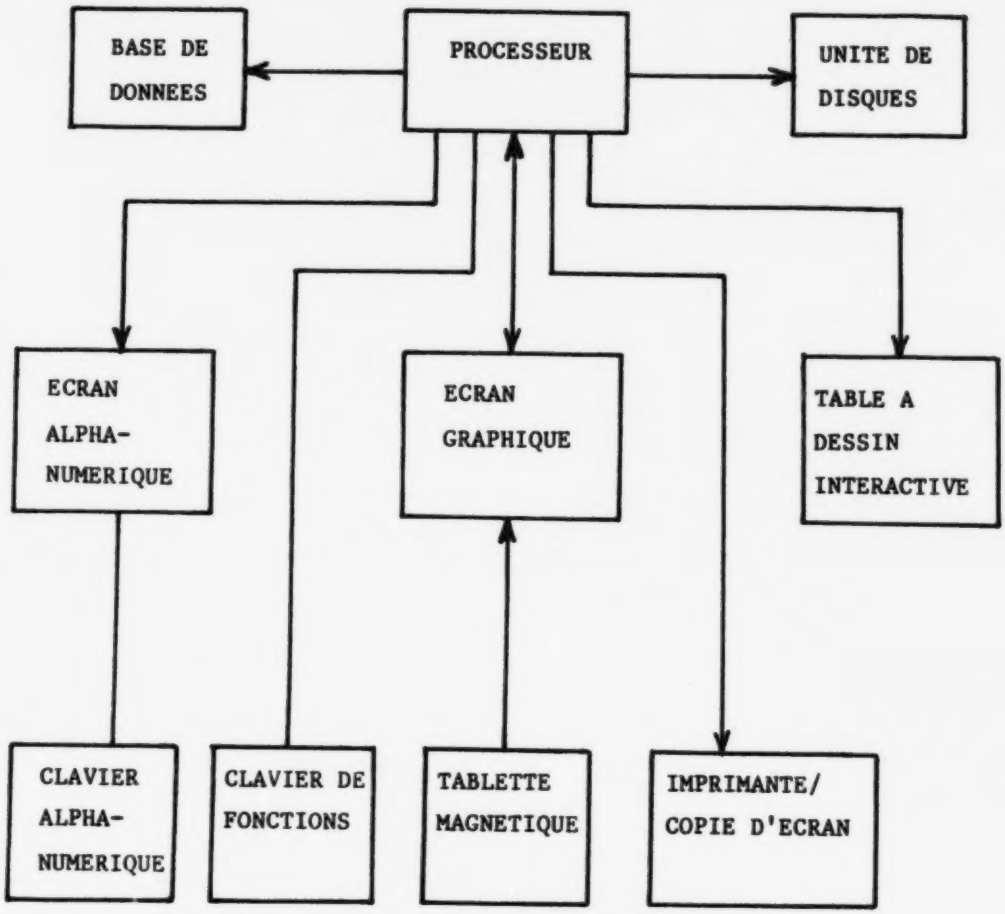
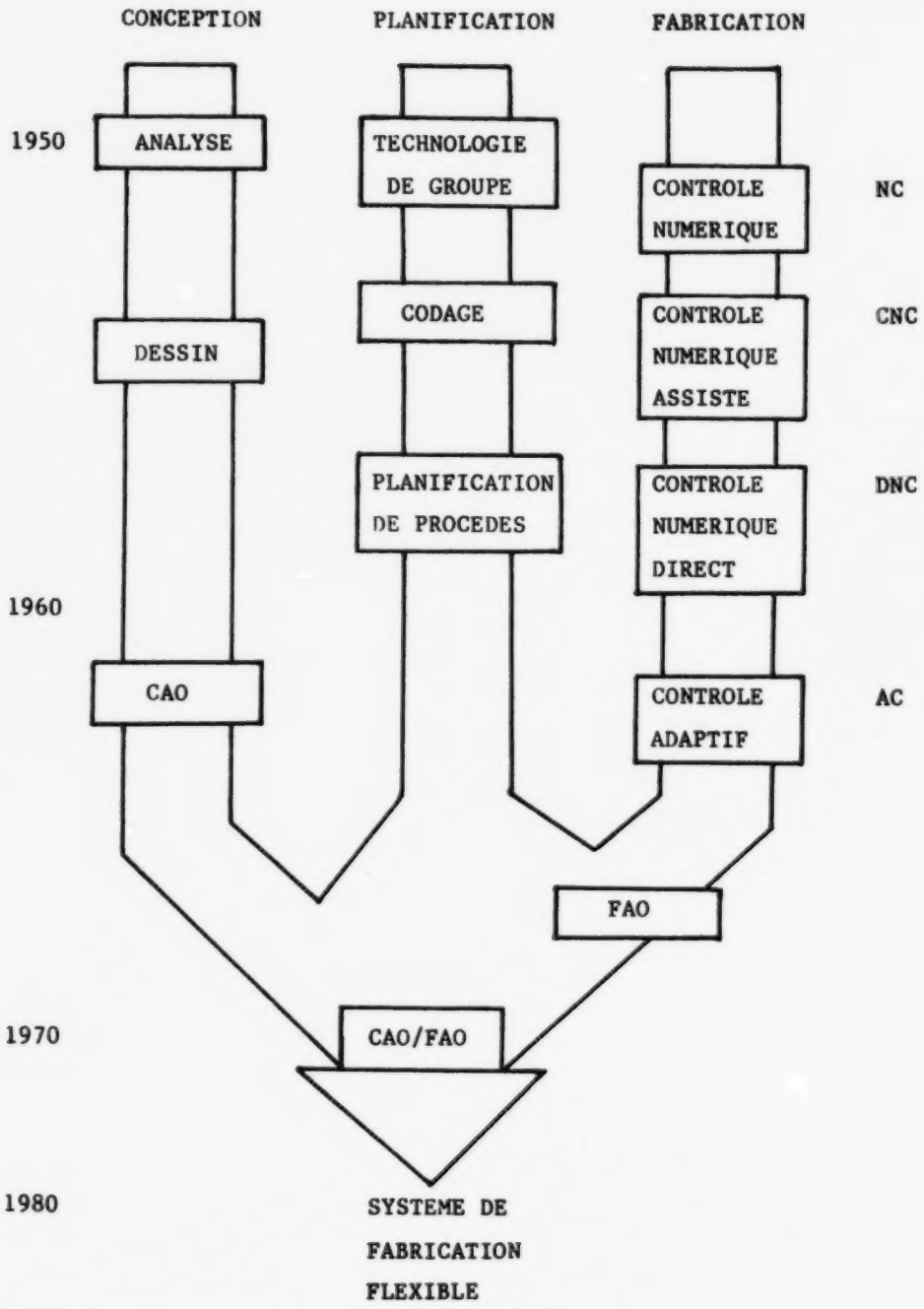


FIG. 2 POSTE DE TRAVAIL INTERACTIF

FIG. 3 EVOLUTION HISTORIQUE DE LA CAO/FAO



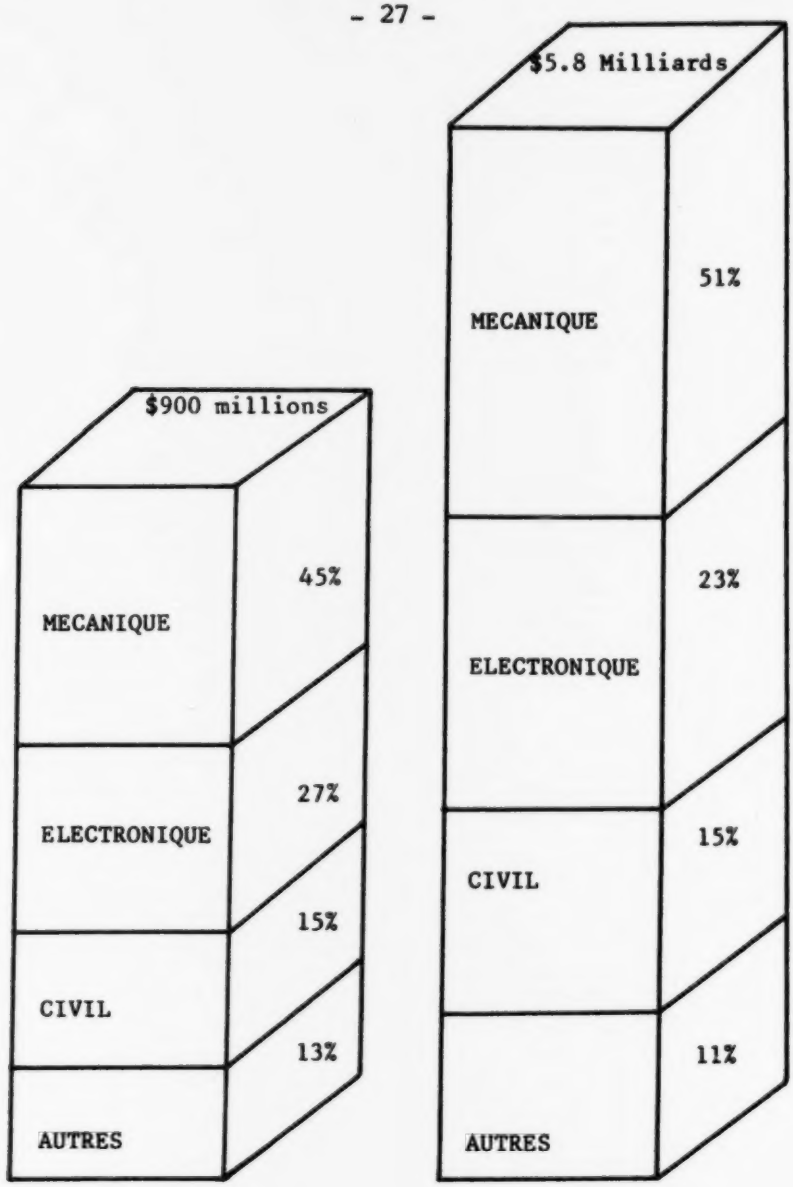


FIG. 4 PREVISION DE CROISSANCE DU MARCHE MONDIAL DE LA CAO/FAO POUR DIFFERENTS SECTEURS INDUSTRIELS

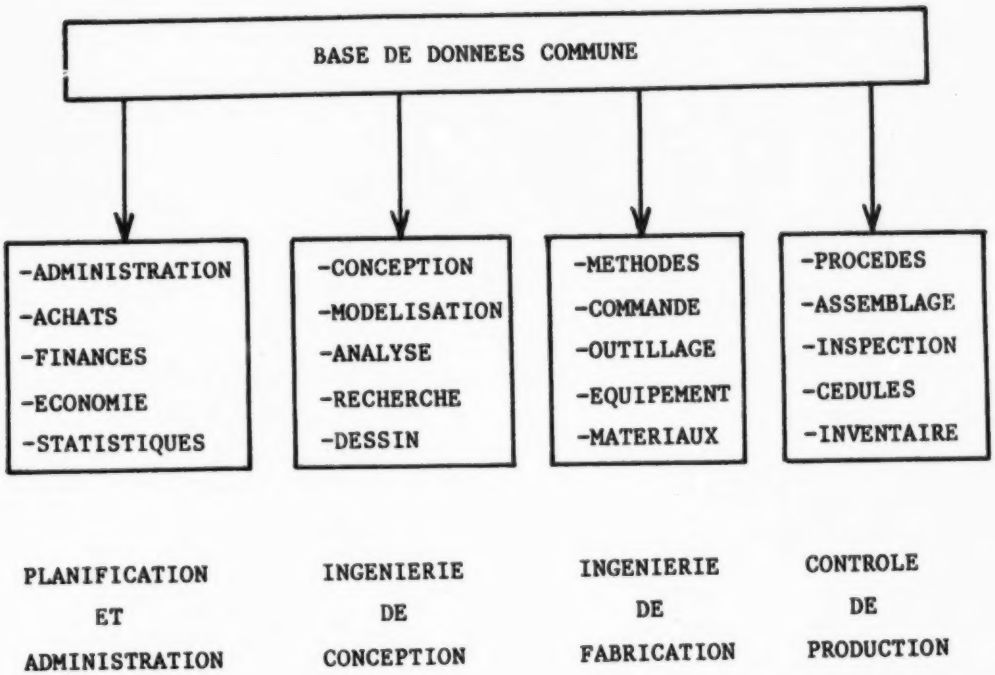


FIG. 5 LE CONCEPT DU SYSTEME DE FABRICATION FLEXIBLE CAO/FAO

SYSTEME INTEGRE DE FABRICATION ASSISTEE PAR ORDINATEUR

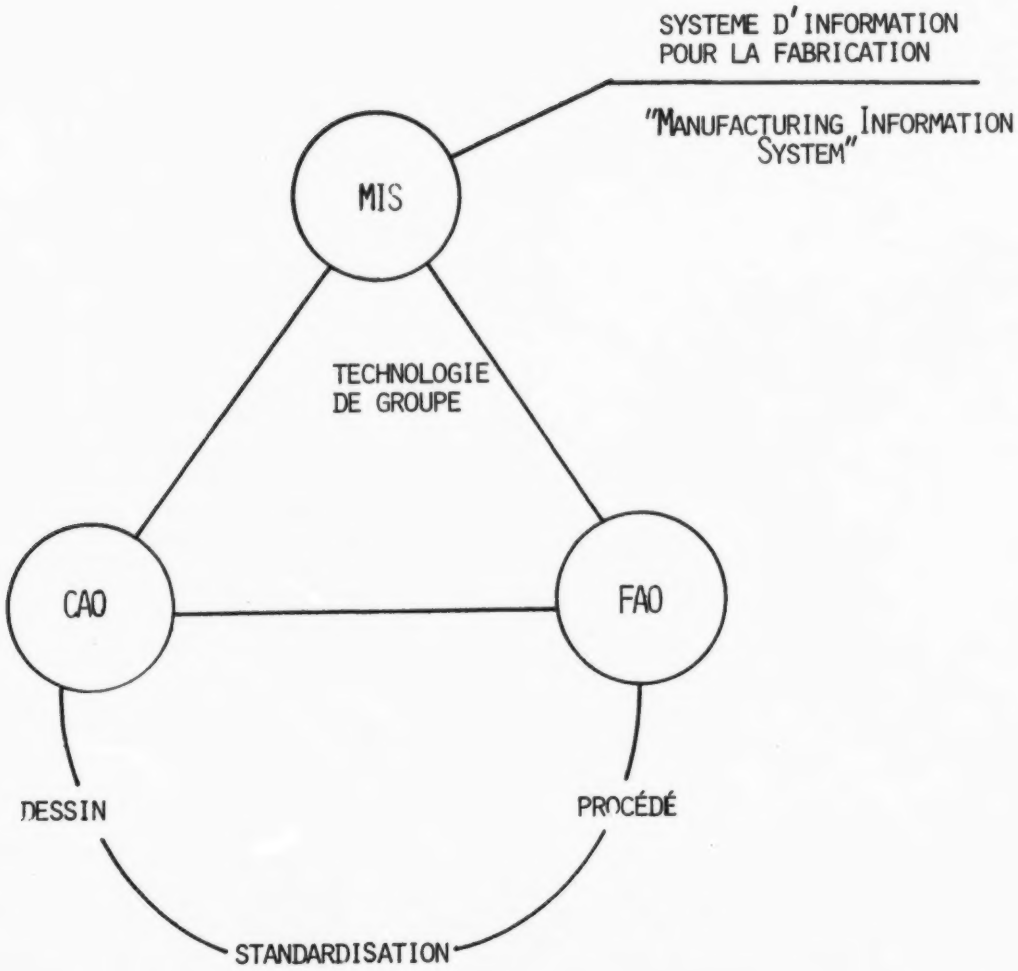


FIG. 6 LE RÔLE DE LA TECHNOLOGIE DE GROUPE DANS UN SYSTEME DE FABRICATION FLEXIBLE.

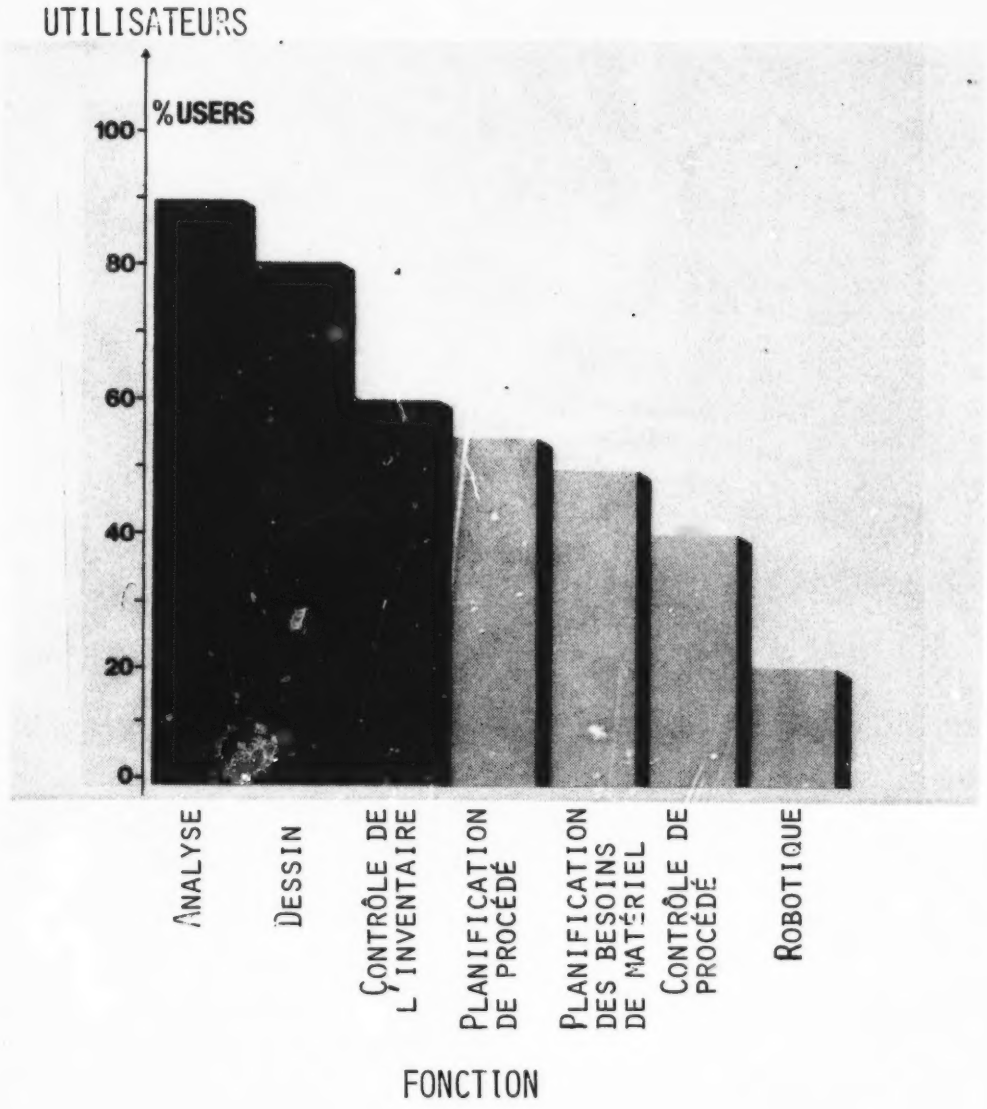


FIGURE 7. PRÉVISION SUR L'UTILISATION DES SYSTÈMES CAO/FAO POUR L'AN 1990 (GRANDES ENTREPRISES).

FIGURE 8. LA CAO/FAO ET L'INDUSTRIE MONDIALE DES PLASTIQUES.

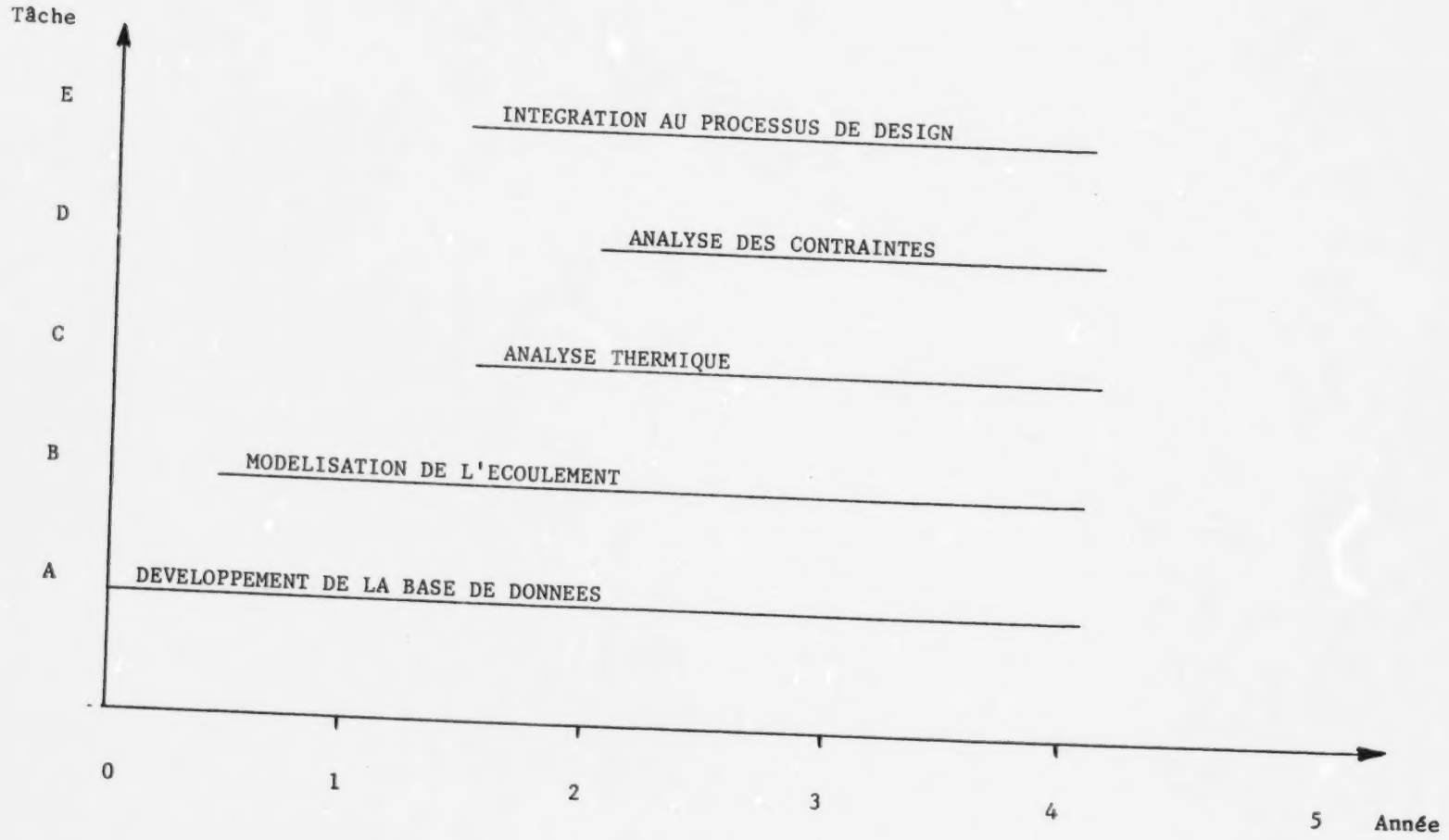


Fig. 9 Description des tâches principales et de leur séquence relative.

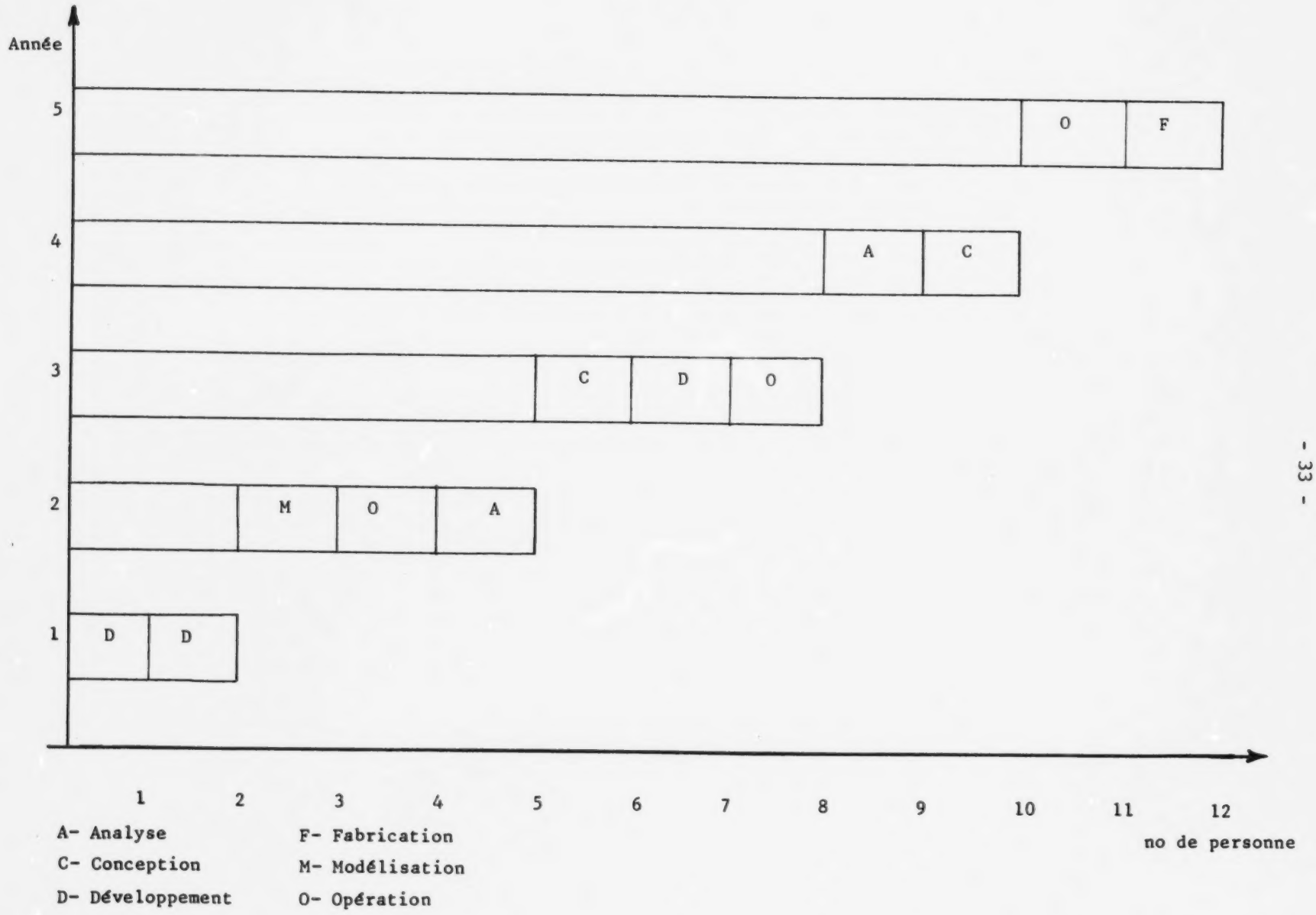


Fig. 10 Besoins en ressources humaines échelonnés sur une période de cinq ans.

	1978	%	1979	%	1980	%	1981	%	1984	%
Mécanique	$65	+60%	$120	+85%	$199	+66%	$310	+56%	$1,100	53%
Electronique	49	+36%	90	+84%	149	+66%	215	+45%	396	28%
Ingénierie civile	25	+50%	50	+100%	75	+50%	108	+45%	308	42%
Cartographie	15	+70%	30	+100%	70	+133%	105	+45%	242	37%
Autres	11	+60%	20	+82%	17	-15%	27	59%	154	73%
TOTAL	$165	+60%	$310	+88%	$510	+65%	$765	+50%	$2,200	44%

TABLEAU 1. ESTIMATION DE LA CROISSANCE ANNUELLE
DU MARCHE DE LA CAO/FAO AUX ETATS-UNIS
PAR APPLICATION
($ MILLIONS)

ITEM	1977	1981	1985	1990	1995
POSTES DE TRAVAIL graphiques interactifs	4,010	14,200	54,600	135,000	335,000
SYSTEMES CAO/FAO	1,150	4,560	18,000	67,000	190,000
POSTES/SYSTEME	3.49	3.11	3.03	2.01	1.76

TABLEAU 2. STATISTIQUES SUR LA CROISSANCE DES INSTALLATIONS CAO/FAO AUX ETATS-UNIS

TYPE D'APPLICATION	Rapport de productivité prévu
- Simple dessin shématique	3.5 - 4.5
- Circuits et instrumentation	3.0 - 3.5
- Assemblage et détail de pièces	3.5 - 3.75
- Matrices pour travailler la tôle métallique	3.5 - 3.75
- Matrices d'extrusion	3.0 - 3.25
- Dessin de l'outillage, moules, etc.	1.7 - 2.25
- Dessin des plans de tuyauterie	1.25 - 1.75
- Dessin de structure	1.5 - 2.0
- Préparation de ruban à contrôle numérique	2.5 - 2.75

TABLEAU 3. RAPPORTS DE PRODUCTIVITE ENTRE LA CAO/FAO ET LES METHODES CONVENTIONNELLES

ITEM/ANNEE	83	84	85	86	87	88	89	90
Nombre d'installations cumulatif	4	10	20	35	55	80	110	150
Production annuelle basée sur 10% d'inflation	5000	5500	6000	6600	7300	8000	8800	9700
% contrôlé par la CAO/FAO	1	2	4	6	10	15	20	25
Economie réalisée par une réduction de rebut de 5%	2.5	5.5	12	20	37	60	88	120
Economie réalisée par une réduction de cycle de 15%	3.75	8.25	18	30	55	80	132	180
Economie annuelle totale	6	14	30	50	92	140	220	330

TABLEAU 4. EVALUATION DES RETOMBEES ECONOMIQUES MAJEURES DE LA CAO/FAO DANS L'INDUSTRUE CANADIENNE DES PLASTIQUES
($ millions)

ALTERNATIVE	CAPITAL	OPERATION	TOTAL
SYSTEME AUTONOME	300	150	450
POSTE DE TRAVAIL EN TEMPS PARTAGE AUTOUR DU VAX 11/750	200	150	350
POSTE DE TRAVAIL EN MODE DISTRIBUTIF AVEC LE VAX 11/750 (ALTERNATIVE CHOISIE)	240	150	390
LOCATION EN TEMPS PARTAGE	--	250	250
POSTE DE TRAVAIL EN SATELLITE AUTOUR DU SYSTEME DU CNR OTTAWA	200	105	305

N.B.: Les coûts mentionnés ci-haut n'incluent pas le deuxième poste de travail ($60K), la deuxième unité de disque ($50K) et le logiciel des solides ($70K) qui figurent au tableau 6.

TABLEAU 5. ESTIMATION DES COUTS DES DIFFERENTES ALTERNATIVES SUR UNE PERIODE DE 3 ANS. ($K)

ITEM DESCRIPTION	COUTS (CAPITAL/OPERATIONNEL) 1e année	2e année	3e année
1. Processeur (CPU), un poste de travail (couleur, raster, tablette magnétique, clavier alphanumérique, clavier de fonctions, unité de disque (80MB), terminal alphanumérique.	$140K		
2. Copieur d'écran	$10K		
3. Unité de ruban magnétique		$30K	
4. Traçeur de précision		$60K	
5. 2e unité de disque 300 MB			$50K
6. 2e poste de travail			$60K
7. Logiciel de base	$55K		
8. Logiciels d'application	$30K	$75K	$60K
Total:	$150/85	$90/75	$110/60

TABLEAU 6. PLAN D'ACHAT PROGRESSIF DU SYSTEME CAO/FAO

ITEM/DESCRIPTION	POIDS	SYSTEMES				
		A	B	C	D	E
1. EQUIPEMENT						
a) Technologie	10	8	10	6	7	6
b) Expansion	10	10	7	5	6	5
c) Compatibilité	5	5	2	0	0	2
	(25)	23	19	11	13	13
2. LOGICIEL						
a) Capacité de design	15	15	12	11	13	11
b) Capacité (NC)	10	8	8	6	8	10
c) Interfaces d'analyse	10	10	7	8	10	8
d) Dialogue avec l'utilisateur	5	5	3	3	4	3
e) Intégrité/versatilité	10	8	7	6	10	8
	(50)	46	37	34	45	40
3. SUPPORT TECHNIQUE						
a) Services d'ingénierie	10	10	6	8	7	8
b) Mise à jour du système	5	5	3	3	4	3
4. STABILITE DU SYSTEME	(10)	10	7	8	10	6
5. PERFORMANCE GLOBALE	100	94	72	64	79	70
VALEURS NORMALISEES	1.0	1.0	.78	.67	.84	.75

TABLEAU 7. ETUDE COMPARATIVE DE LA PERFORMANCE DES SYSTEMES CAO/FAO

REFERENCES

1. Serge Parizot, Techniques de l'ingénieur, vol. T7300, Paris, France, 1981.

2. CASA-SME, Proceedings of the AUTOFACT III Conference, Detroit, U.S.A., November 1981.

3. CAM-I, Proceedings of the International Spring Seminar, Cannes, France, April 1981.

4. METCUT Research Associate, Machining Data Handbook, M.D.C. Vol. 2, Ohio, U.S.A., 1980.

5. IEEE-COMPUTER, CAD/CAM, The Need for a Broader Focus, January 1982.

6. Merrill Lynch, CAD/CAM Industry Review and Outlook Results of First Annual User Survey, September 1980.

7. Jean-Jacques Servan Schreiber, Le défi mondial, Edition SELECT Ltée, Montréal, 1980.

8. ENJEUX, Edition AFNOR, no. 14, Paris, France, Mai 1981.

9. Jean Mermet, Proceedings of the First European Conference on CAD in Medium Sized and Small Industries, MICAD 80 Paris, France, September 1980.

10. Charles Eastman, Data Base Facilities for Engineering Design, Proceedings of the IEEE, Special Issue on CAD, vol. 69, No 10, october 1981.

11. Gene Bylinsky, A New Industrial Revolution Is on the Way, FORTUNE, October 1981.

12. ELASTOMERICS, Computer-Controlled Drafting Equipment Ease Mold Design Processing, November 1980.

13. Lyn Hamilton, Computer in the Molding Plant, Canadian Plastics, October 1975.

14. Canadian Machinery and Metalworking, 1981 Census of Canada NC Machine Tools, March 1981.

15. CAD/CAM Technology Advancement Council, Information Needs of Canadian Companies on CAD/CAM, February 1982.

16. Robert Stauffer, Robotics Highlights of the AUTOFACT III Conference, ROBOTICS TODAY, February 1982.

17. Kanji Yonomoto, The Socio-Economic Impacts of Industrial Robots in Japan, The Industrial Robot, December 1981.

18. Victor Buchstab and Faris Shammas, Prognosis for the 80s, Canadian Plastics Directory and Buyers' Guide, 1981.

19. Frank Marra, Mold Industry Prognosis: Excellent ... but with Problems, Canadian Plastics, November 1979.

20. Arnold Varner, Computerized Age Approach to Design of Mold & Plastic Parts - an Update, Proceedings of the 39th ANTEC SPE Conference, Boston, U.S.A., May 1981.

21. Plastiques modernes et élastomères, Dessiner votre moule à l'ordinateur, Jan/Fév. 1980.

22. Bernie Miller, Goodbye, Cut-and-Try; Now It Is a Science, Plastics World, August 1981.

23. John Luciana, Reduce Mold Cooling Time Through Heat Transfer Analysis, Plastics Engineering, October 1981.

24. Bernie Miller, Production in Molding Say "Goodbye" to the Guess Work, Plastics World, September 1980.

25. Modern Plastics, Computerized Moldmaking Gets a Start and CAE Replicates Solid Molds That Can Be Tested, August 1981.

26. Scott Collins, CAD/CAM: The Moldmaker's Point of View, Plastics Machinery and Equipment, May 1981.

27. K. Wang, P. Khullar and W. Wang, Designing Injection Molds by Computer, Plastics Engineering, November 1981.

28. D. Welbourn, Computer Graphics and Numerically Controlled Machining: Two Years' Program, Plastics & Rubber Processing, June 1977.

29. R. Fenner and M. Mihsein, Stress Analysis of Extruder Screws, Plastics and Rubber Processing, March 1980.

30. S. Richardson, H. Pearson and J. Pearson, Simulation of Injection Moulding, Plastics and Rubber Processing, June 1980.

31. H. Bangert and G. Menges, Systematic Design of Injection Molds and Use of Computer, Proceedings of the 37th ANTEC, SPE Conference, New Orleans, U.S.A. 1979.

32. W. Eversheim and G. Bruninghaus, Computer Aided Design of Injection Molding Tools, Industrie Anzeiger, vol. 101, no. 37, May 1979.

33. Proceedings of the 9th IKV Seminar, Rubber and Plastics Research Association, Block 9 & 10, Aachen, Germany, March 1978.

34. C. Bord and M. Brièrre, Injection Mould Tools for Non Cellular Thermoplastics, Proceedings of the 38 th ANTEC, SPE Conference, New York, U.S.A., May 1980.

35. J. Maucotel et S. Couturier, Refroidissement des moules, Caoutchoucs et Plastiques, Jan/Fév. 1982.

36. C. Bord, Modélisation de l'écoulement des polymères dans les moules d'injection appliquée à la conception des moules, Edition du Centre d'étude des matières plastiques, Paris, France, Décembre 1980.

37. M. Toshihiro and Y. Masahiro, Computer Aided Design, Drawing and Manufacturing System for Dies and Molds, National Technical Report, vol. 24, no. 6, December 1978.

38. F. Yasukiyo, Approaches to Automation and High Cycle Molding Seen from Molds, Japan Plastic Age, July 1974.

39. S. Atre, Data Base Structured Techniques for Design, Performance and Management, John Wiley & Sons, 1980.

40. S.H. Chasen and J.W. Dow, The Guide for the Evaluation and Implementation of CAD/CAM Systems, 1981.

ANNEXE A

LISTE PARTIELLE DES COMPAGNIES CANADIENNES UTILISANT LA CAO/FAO

1. Canadian Institute of Metalworking, Hamilton, Ont.
2. Canadian General Electric, Cobourg & Toronto, Ont.
3. Balck & Decker Canada, Brockville, Ont.
4. Pratt & Whitney, Longueuil, Qué.
5. Alcan Canada, Laval, Qué., Kingston, Ont.
6. Bata Engineering, Battawa, Ont.
7. DREO, Ottawa, Ont.
8. Dominion Engineering, Montréal, Qué.
9. Aviation Electric, Montréal, Qué.
10. Canadair, Montréal, Qué.
11. CNRC, Vancouver, B.C.
12. H.A. Simons, Vancouver, B.C.
13. AES, Edmonton, Alb., Vancouver, B.C.,Montréal Qué.
14. George Brown College, Toronto, Ont.
15. Seneca College, Toronto, Ont.
16. Durharm College, Oshawa, Ont.
17. Domglas Inc., Hamilton, Ont.
18. Dodge Canada, Brampton, Ont.
19. Rolls Royce, Montréal, Qué.
20. Lavalin Services Inc., Montréal, Qué.
21. Rockwell International, Toronto, Ont.
22. Control Data Canada, Mississauga, Ont.
23. Canadian Car Pacific, Vancouver, B.C.
24. Wonderbra, Montréal, Qué.
25. SNC, Montréal, Qué.
26. Atomic Energy Canada, Ont.
27. Ontario Hydro, Ont.
28. DeHavilland Aircraft of Canada, Ont.
29. Hewitt Equipment, Montréal, Qué.
30. Canadian National, Montréal, Qué.

31. Gandel Equipment, Ottawa, Ont.
32. Ministère des travaux publiques, Ottawa, Ont.
33. Engersoll Rand Canada, Sherbrooke, Qué.
34. Dominion Bridge, Calgary, Alb.
35. Delta Benco-Cascad, Rexdale, Ont.
36. Imperial Oil, Toronto, Ont.
37. TIW Industries, Toronto, Ont.
38. AcCurdy Radio Industries, Toronto, Ont.
39. Dresser Canada, Ont.
40. George & Nick's Machine Work, Alb.
41. Procter & Granble, Ont.
42. Husky Injection Molding, Bolton, Ont.
43. Mold Master Canada, Toronto, Ont.
44. Northern Telecom, Qué., Ont.
45. Greb Industries, Kitchener, Ont.
46. Wastinghouse Canada, Hamilton, Ont.
47. Consumer Glass, Qué., Ont.
48. Hawker Siddley Canada
49. NRC, Waterloo, Ont.
50. AES Data, Qué., Ont.
51. Federal Pionneer, Toronto, Ont.
52. Prot Weller Dry Dock, Ont.
53. Sullivan Strong Scott, Man.

ANNEXE B

LISTE PARTIELLE DES COMPAGNIES AMERICAINES UTILISANT LA CAO/FAO DANS L'INDUSTRIE DES PLASTIQUES

1. Hanson Pattern and Mold Corp., Ludlow, Mass.
2. Caco-Pacific, Division of Amerace Corp., Covina, Calif.
3. Rubbermaid's Household Products Div., Wooster, Ohio
4. Indianna Die Cast Tool, Franklin, Ind.
5. Guide Division of General Motors, Anderson, Ind.
6. Design Horizons, Chicago, Ill.
7. Modern Tool Div. of Libby-Owens-Ford, Toledo, Ohio
8. Ronningen R & D Co. Viscksburg, Mich.
9. Kroy Industries Inc. W. Stillwater, Minn. and Dresser & River Falls, Wis.
10. CAMM Machining, Co., Grand Rapids, Mich.
11. General Electric's Dishwasher & Disposal, Louisville, KY.
12. G&W Plastics Div. of Kennecott Corp. Bethel, VT.
13. U.F.E. Inc. Stillwater, Minn.
14. E.W. Mold and Tool Co. Inc. Indianapolis, Ind.
15. General Electric Corporate R & D Schnectady, NY.
16. Lakeland Tool and Eng. Inc. Minnetonka, Minn.
17. Newark Die Co. Springfield, N.J.
18. Plas-Tool's Vonholdt, Niles, Ill.
19. Atols Tools and Mold Corp. Schiller Park, Ill.
20. Deluxe Die Mold Inc. Elmhurst, Ill.
21. Pixily Richard, Phoenix, Arizona
22. Pacifico Corp. Gresham, Oregon
23. Revere Mold and Engineering, Roseville, Mich.
24. Burton Tool and Die Co. Inc. Leominster, Mass.
25. Alco Standard Corp. Valley Forge, Pa.
26. General Tire and Rubber Company, Akron, Ohio
27. ACME Engineering, Cleveland, Ohio
28. Polytech Ltd. Seattle, WA
29. Scientific Process and Research Inc. Somerset, NJ

30. Teknics Industries, Wayne, NJ
31. Intermetrics Inc. Cambridge, Mass.
32. Applications Engineering Corp., Ill.
33. Control Process Inc., Plantsville, CT.
34. Extruder Design Co. Washington, DC
35. Mold Trim Engineering, Div. of New Venture Eng. Manchester, Mass.
36. A-1 Tool Div. Beatrice Foods Co. Melrose Park, Ill.
37. Marland Mold Div. Ethyl Corp.
38. Massie Tool and Mold
39. Firestone Tire and Rubber Co. Akron, Ohio
40. Moldflow Associates, Bridgeport, Conn. and Lagunal Hills, Calif.
41. Creative Designs, Glendale, Calif.
42. Weber N/C Systems, Brookfiled, Wisc.
43. Accura Tool and Mold Inc. Crystal Lake, Ill.
44. The 3M Co. St. Paul, Minn.
45. Damascus Tool Co. Springfield, N.J.
46. Prototel Co., Bolder, Colorado
47. Polster Tool Engineering Inc., Ballwin, MO
48. S.A.W. Tooling Co., Elgin, Ill.
49. General Motors, Fisher Body Div., Warren, Michigan
50. Automatic Molded Plastics Inc., South Bend, IN.
51. U.S. Armament R & D Command, Dover, NJ.
52. Arco Polymers, Monaco. PA.
53. Control Process Inc., Plantsville, CT.
54. Chrysler Plastic Products, Mich., Ind.
55. Bradley Corp. Menomonce Falls, Wis.
56. John Deere & Co., Moline, Ill.
57. RCA's Consumer Electronics Div., Ind.
58. Data General Corp. Maynard, Mass.
59. Security Plastics, Florida
60. F. Corning Glass, N.Y.
61. GTE Automatic Electric, Huntsville, Ala.
62. Dow Corning Corp. Freeland, Mich., Ind.
63. Chore Time Co.
64. Lucas Industries

65. Tupperware Co. Art & Craft, U.S.A.
66. Dupont Co.
67. Sonorplast S.A.
68. Celanese Co.
69. Barber Colman
70. Tenax Corp.
71. Niki Shoes

ANNEXE C

LES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DU SYSTEME CHOISI

1. OBJECTIVE: The system should provide design, drafting and manufacturing capabilities to assist the following R & D. activities
   - Design and manufacturing engineering data base
   - Products, dies and molds design, etc.
   - NC machining and robotics
   - Process simulation and engineering analysis
   - etc.

2. GENERAL REQUIREMENTS:

   a) This system must be compatible with our VAX 11/750, see appendix A for details. Also systems compatibility should provide a distributed mode of operation and enable the user to exchange information files developed either on the VAX or with the new system.

   b) The VAX 11/750 will be used for the execution of large programs requiring a lot of memory and computation power, such as the solid modeling processor.

   c) The system will be purchased progressively, therefore it must be expandable and of modular structure in hardware and software.

   e) A communication interface is required to allow the access to some engineering services provided by the vendor, such as ANSYS, NASTRAN, programs for finite elements analysis and color plotting facilities, etc.

3. SYSTEM HARDWARE CHARACTERISTICS:

The system must be able to support up to four (4) graphics workstation (raster color or black and white) concurently with all peripheriral devices specified herein without degradation. An intelligent graphics terminal is required with a size of 19 in diagonal, high resolution raster color technology. The terminal should provide excellent image clarity, brightness and contrast, and gray scale capabilities. Also less than one second response time must be maintained. The quick look hardcopy unit must be capable of being multiplexed to more that one terminal.

a) Workstations manager for multiprocessing environment with floating point processor.

b) Color raster scan graphics terminal and console.

c) Graphics input devices: electronic pen, tablet, alphanumeric and multifunction keyboards.

d) CRT alphanumeric display device.

e) 64 key function keyboard for special applications

f) Disk storage unit of 80 MB capacity

g) Quick look hard copy unit

h) Workstation chair

i) Intersystem communication interfaces and cablesets

4. SYSTEM SOFTWARE CHARACTERISTICS:

a) The software must allow continuing development of the system, such as the generation, addition and modification of the user data base. This will include graphics entity types, non graphic information and application programs.

b) The software must allow an interactive graphics operation with advanced abbreviated tehcnique such as command menu or symbol recognition.

c) The proposed software must support at least the following functions:

1. 2D/3D geometric modeling including sculptured surface, blending, splining, image morroring, multiple viewing, layering and full dimensioning, tolerancing or units conversion capabilities.

2. Solids (volumes) modeling including hidden line removal, planar and non planar cross sections from any angle, partial cut-away, mass properties, shaded image and exploded views capabilities.

3. Part programming (NC/APT) to support machining operations such as milling turning, drilling, profiling, grooving, etc. with 3 to 5 axis tool motion required for contoured surfaces applications.

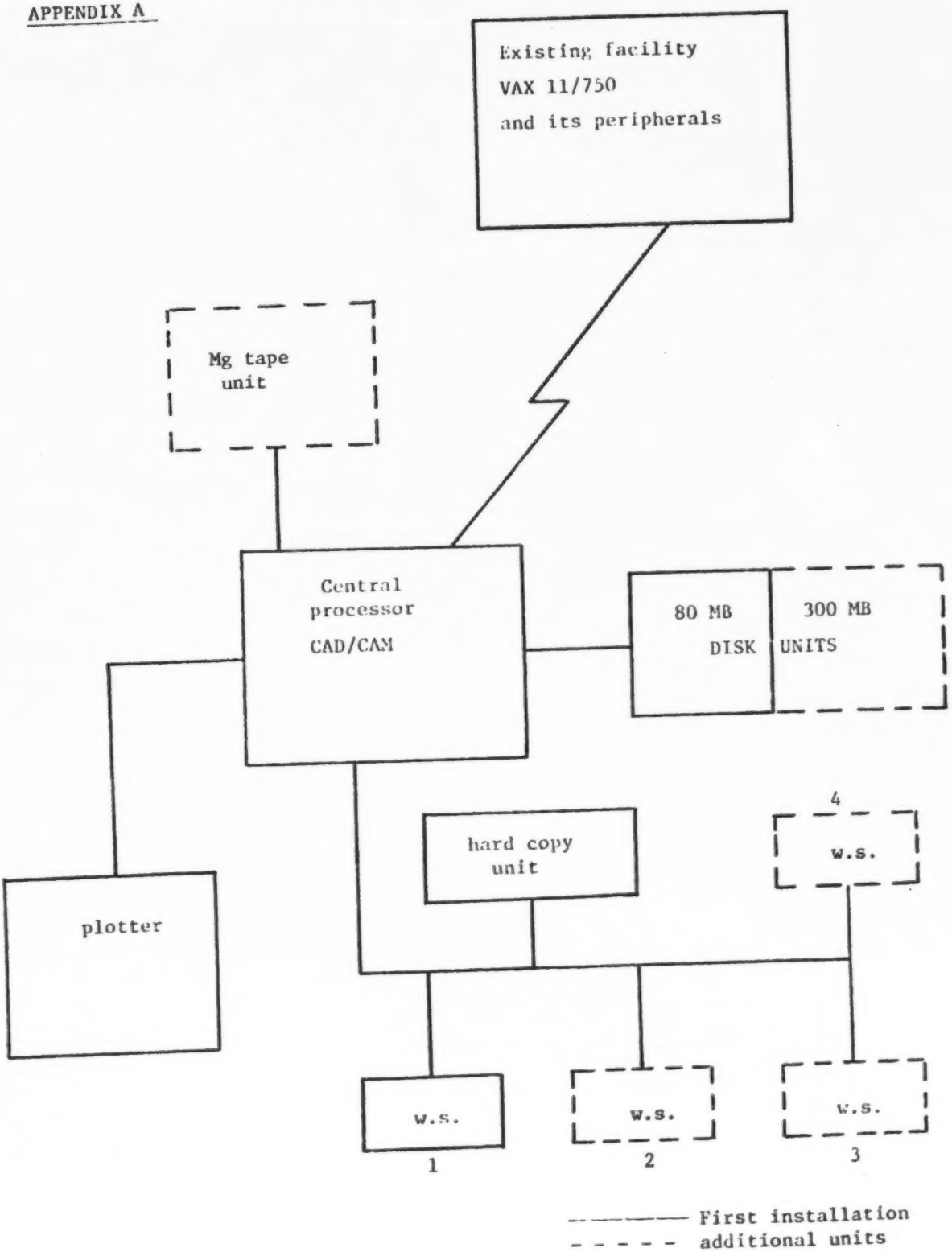
4. Flat pattern development and nesting capabilities.

5. Finite elements modeling including pre- and post-processing capabilities to interface with finite elements analysis programs such as ANSYS, Nastran, etc.

6. Engineering data base development, bill of materials generation, parts coding and classification and protection for files.

7. Application programs development.

APPENDIX A


Existing facility
VAX 11/750
and its peripherals
Mg tape unit
Central processor
CAD/CAM
80 MB DISK
300 MB UNITS
hard copy unit
4
w.s.
plotter
w.s.
1
w.s.
2
w.s.
3
First installation
additional units

ANNEXE C

SOME OF THE MAJOR USERS OF THE SELECTED SYSTEM:

NORTHROP
SUNDSTRAND
FAIRCHILD
GENERAL ELECTRIC
RAYTHEON
WESTINGHOUSE
GENERAL MOTORS
OAK SYSTEMS
GENERAL ATOMIC
SIEMENS ALLIS
GOODYEAR ATOMIC
FAIRBANKS
EXXON
ANNISTON, LETTERKENNY
AMF
IMP
HUGHES AIRCRAFT
MEAD ELECTRONICS
KIMBERLY CLARL
MARTIN MARIETTA
COOPER
FOXBORO
PNEUMO
SCANRAY
XEROX
SANDERS
SCIENTIFIC ATLANTA
DRAPER LAB.
HONEYWELL
AMP
UNITRODE
WANG
INTERTEL
LECROY
BURROUGHS CORP.
BENDIX
GILBARCO
EATON CORP.
BUCYRUS ERIE CORP.
CII HONEYWELL BULL
THOMSON AVS. DFH. CSF
MASSEY FURGESON
HPM
PRODUCTIONS
CUTLEY HAMMER
HYDRES
AC DELCO
AT & T LONG LINES
ARMSTRONG WORLD INDUSTRIES
BALL CORPORATION
BAUSCH AND LOMB
BELL TELEPHONE LABORATORIES
RCA
UNIVERSAL INSTRUMENT
TEKTRONICS
AT AND T
ANALOGICS
COOPER ENERGY SERVICES
SPERRY UNIVAC
KIMBALL
WRIGHT PATTERSON
SINCLAIR
SANDIA LABORATORIES
MOSTEK
TRW
ZILOG
SYSTEMS ENGINEERING LAB.
AMDAHL
PACCAR
BOEING AIRCRAFT
NORTHWEST NATIONAL GAS
HEWLETT PACKARD
MARCONI AVIONICS
FERRANTI
GENERAL AUTOMATION
INTEL
GEC
BRITISH TELECOMMUNICATIONS
MATSUSHITA
TOYO ENGINEERING CO.
NIPPON ELECTRIC CORP.
FUJITSA
MITSUBISHI
HITACHI
SHARP
SONY
ROBERT BOSCH GMBH
SYCOTRONICS
KRAFTWERKE UNION
E.D.F.
DOW CORNING
VULLIERME
TELEDYNE WALT DISNEY
ABDICK
NATIONAL WATER LIFT
LANDIS TOOL
WESTERN ELECTRIC
ANALOGIC CORPORATION
ATOMIC ENERGY
CLEVELAND PNEUMATIC CO.

MARCONI CANADA
CODEX COPR.
DARCHEM
DESY
DIPL. ING. SCHUESSLER
FORSCHUNGS INSTITUT DER DEUTSCHEN
HADRON INC.
INCIR NV
KIENZLE APPARATE GMBH
MASSEY FURGESON MFG. CO.
MEASUREX CORP.
NETTLE AG
NORFOLK & WESTERN RAILWAY
SANDERS ASSOCIATES INC.
SIEGFRIED JEBENS GMBH
TELDIX GMBH
UNIROYAL TIRE TECHNICAL CENTER
WELDUN INTERNATIONAL
WILLIAM RAINEY HARPER COLLEGE

CUSTOMER	No. of Division	No. of Configurations
A.T. & T.	5	24
General Electric	10	70
General Motors	9	26
Department of Energy	6	20
NASA	3	10
Army	4	5
Air force	3	5
Navy	11	16
RCA	9	18

ANNEXE D

INFORMATION TECHNIQUES SUR LES SYSTEMES CAO/FAO

1. COMPARAISON SOMMAIRE DE DIFFERENTS MODES D'OPERATION DES SYSTEMES CAO/FAO

	TURNKEY SYSTEM	SHARED LOGIC	DISTRIBUTED PROCESSING
Initial cost	High	Low	Medium
Overhead cost	High	Medium	Low
Risk	Very low	Medium	Low
Station location	Close to CPU	Remote operation	Virtually unlimited
Break-in period	4 to 8 mo.	2 to 5 mo.	3 to 5 mo.
Flexibility	Low	High	Medium
Interactive time	Good	Determined by CPU	Exellent
Data-base time	Slow	Determined by CPU	Determined by CPU
Excess capacity	Not utilized	Multiple uses	Multiple uses
Growth potenial	Limited by CPU	Limited by host	Limited by CPU

Machine Design - March, 1982

INFORMATION TECHNIQUES SUR LES
SYSTEMES CAO/FAO (suite)

2. COMPARAISON DE DIFFERENTES TECHNOLOGIES DES TERMINAUX GRAPHIQUES

GRAPHICS DEVICE	LINE QUALITY	SCREEN DYNAMICS	DISPLAY CAPACITY	AREA FILL	COLOR QYALITY	COST
Stroke writer	Excellent	Excellent	Fair	Poor	Fair	High
Storage tube	Excellent	Poor	Excellent	Poor	Poor	Low
Raster Scan	Fair	Fair	Excellent	Excellent	Excellent	Moderate

Design Engineering - March, 1982

INFORMATION TECHNIQUES SUR LES
SYSTEMES CAO/FAO (suite)

3. LES ELEMENTS ESSENTIELS D'UN SYSTEM CAO/FAO

SOFTWARE

Operating software
- Control-store microcode
- Operating system
- Device drivers
- Date management system
- Power-fail and restart software
- Telecommunications drivers
- Network support programs
- System-to-user interfaces
- System-to-mainframe interfaces
- System use accounting software

Utility software
- Copy programs (medium-to-medium)
- Programming language processors
- Program debugging aids
- Data conversion software
- System update management software

CAD graphics software
- Basic graphics
- Advanced graphics
- Advanced graphics editors
- Drafting software
- Hidden line removal
- Finite-element model creation
- Finite-element model results analysis
- Bill of materials extraction
- Area, volume and mass extraction

CAM graphics software
- APT basic software
- NC basic software
- NC drilling support
- NC flame-cutting support
- NC machine-center support
- Sheet metal pattern layout

Special applications
- Bottle design package
- Electrical circuit design package
- Piping layout
- Structure model building
- Special purpose analysis program

Manuals and logs
- System operator manual
- System supervisor manual
- Tutorial manuals
- Sytem maintenance manuals
- Software source listing
- System log
- Work station logs

Machine Design - Oct., 1981

INFORMATIONS TECHNIQUES SUR LES
SYSTEMES CAO/FAO (suite)

3. LES ELEMENTS ESSENTIELS D'UN SYSTEME CAO/FAO

HARDWARE

Work stations
- Graphics displays
- Alphanumeric displays
- Keyboards
- Cursor control devices
- Function menu devices
- Digitizers
- Hard-copy units
- Work station processors
- Special Furniture

Graphics processors
- Computer
- Main memory
- Cache memory hardware
- Memory mapping hardware
- Virtual memory hardware
- Memory parity hardware
- Memory battery back-up
- Floating point processing hardware
- Real-time clock
- On-line disc storage
- Off-line magnetic tape storage
- Work-station interfaces
- Output-station interfaces
- Telecommunication interfaces

Output stations
- Pen plotters
- Electrostatic plotters
- Photo plotters
- Perforated-tape punches
- High-spead printers

Interconnecting cables
- Local, data interconnecting cables
- Power cables

Initial consumables
- Disc packs
- Magnetic tape
- Paper tape
- Drawing vellum
- Plotter pens and ink
- Electrographic paper
- Electrostatic-plotter toner
- Hard-copy unit paper
- High-speed printer paper
- High-speed printer ribbon
- System console paper
- System console ribbon

Machine Design - Oct., 1981

LISTE PARTIELLE DES FOURNISSEURS DE SYSTEMES CAO/FAO

1. AM Bruming
2. Applicon Inc., Schlumberger
3. Avera Corp.
4. Auto-trol Technology
5. CALCOMP
6. CALMA, GE.
7. Compeda Inc.
8. Computervision Corp.
9. Control Data Corp.
10. Data Technology Inc.
11. Digital Equipment Corp.
12. Gerber Scientific Instrument
13. Grafcon Corp.
14. Honeywell Corp.
15. IBM Corp.
16. Interactive Computer Systems Inc.
17. Intergraph Corp.
18. Keuffel and Esser Co.
19. McDonnell Douglas Automation Co.
20. Manufacturing Data Systems Inc.
21. Mentor Graphics Corp.
22. Nicolet CAD Corp.
23. Omnitech Graphics Systems
24. Phoenix Automation
25. Racal-Redac Inc.
26. Sigma Design Inc.
27. Synercom Inc.
28. Summagraphics Corp.
29. Tektronix Inc.
30. VL Systems Inc.
31. Broomall Industries Inc.

POOR

QUALITY

ORIGINAL